

N° d'ordre 22 U

UNIVERSITE DE CLERMONT-FERRAND — FACULTE DES SCIENCES

T H E S E S
présentées
à la FACULTE des SCIENCES de
l'UNIVERSITE DE CLERMONT-FERRAND
pour l'obtention
du GRADE de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE
(Mention Sciences Naturelles)

par L. DELBOS

1ère Thèse : **LES GRANITES DES AMBATOMIRANTY
DE BEHENJY ET DES VAVAVATO
PRES DE TANANARIVE, A MADAGASCAR**

2ème Thèse : Proposition donnée par la Faculté

Soutenues publiquement le 16 Juillet 1957
devant la Commission d'Examen :

Jury :

MM. les Professeurs	M. ROQUES..... Président
	R. HOVASSE Assesseur
	P. LAPADU-HARGUES Assesseur

N° d'ordre 22 U

UNIVERSITE DE CLERMONT-FERRAND -- FACULTE DES SCIENCES

T H E S E S

présentées

à la FACULTE des SCIENCES de

l'UNIVERSITE DE CLERMONT-FERRAND

pour l'obtention

du GRADE de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

(Mention Sciences Naturelles)

par

L. D E L B O S



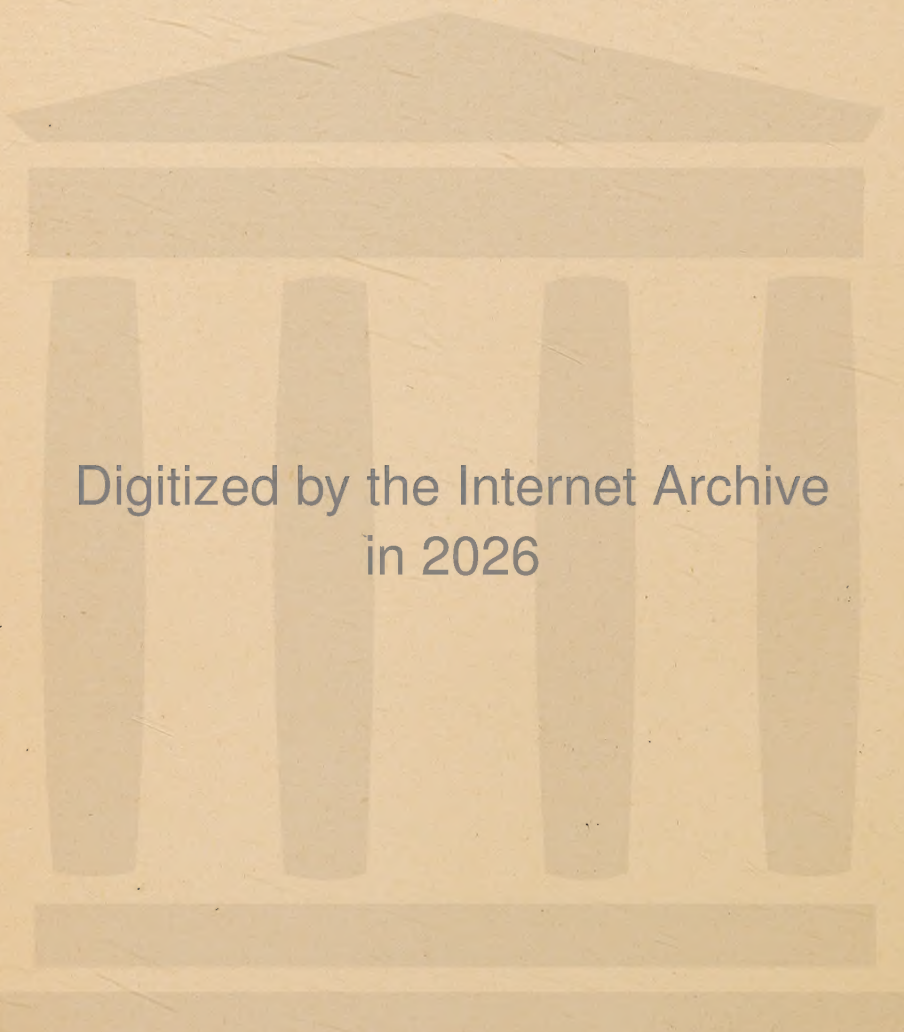
1ère Thèse : LES GRANITES DES AMBATOMIRANTY, de BEHENJY
ET DES VAVAVATO, près de TANANARIVE, à
MADAGASCAR.

2ème Thèse : Proposition donnée par la Faculté.

Soutenues publiquement le 16 juillet 1957
devant la Commission d'Examen :

Jury :

MM. les Professeurs	M. ROQUES	Président
	R. HOVASSE	Assesseur
	P. LAPADU-HARGUES	Assesseur



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546606_0025

UNIVERSITE DE CLERMONT-FERRAND

FACULTE des SCIENCES

- : - : - : - : -

DOYEN

M. DELANGE, Analyse supérieure

ASSESSEUR

M. RAMBAUD, Chimie générale

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. HAAG, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon

JUNG, Professeur à la Sorbonne.

MANDELBROJT, Professeur au Collège de France.

GAUTHIER, Maître de Conférences honoraire.

PROFESSEURS

MM. DELANGE, Calcul différentiel et intégral

DUBOIS, Physique générale

BLANC, Mécanique rationnelle

JAFFRAY, Physique générale

RAMBAUD, Chimie générale

REMY, Chimie industrielle

TRUFFAULT, Chimie industrielle

HOVASSE, Zoologie et Biologie animale

CHAZE, Botanique pure et appliquée

ROQUES, Géologie et Minéralogie

LAPADU-HARGUES, Minéralogie

PROFESSEURS SANS CHAIRE

MM. SAMUEL, Mathématiques

RAOULT, Physique

LUTZ, Zoologie

CHAMPAGNAT, Botanique

MAITRES DE CONFERENCES

MM. TAGLAND, Physique

DUPLESSIS-KERGOMARD, Chimie

PARIAUD, Chimie, Physique

SECRETAIRE

M. MERCIER.

LES GRANITES DES AMBATOMIRANTY, DE BEHENJY
ET DES VAVAVATO PRES DE TANANARIVE (MADAGASCAR)

par Léon DELBOS

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
Avant propos	5
Introduction	6
Travaux antérieurs	6
Aperçu géographique	7
Aperçu géologique	8
1 ^o Système du Graphite	8
2 ^o Les migmatites	8
3 ^o Les formations recoupantes	9
CHAPITRE I - Les granites Ambatomiranty	11
Définition	11
Gisement et situation	11
Orientation	13
Position stratigraphique	14
Pétrographie	14
Etude minéralogique des différents éléments de la roche	15
Variations de facies	16
Etude des enclaves et des contacts	18
Etudes - Analyses chimiques	21
Généralités	21
Paramètres C.I.P.W.	23
Diagramme de variations	25
Essai d'interprétation des calculs de BARTH	25
Conclusion à l'étude des Ambatomiranty	32

	<u>Page</u>
CHAPITRE II - Le massif de Behenjy	35
Situation	35
I- Constitution géologique	35
Les roches encaissantes	35
Le granite	35
Différents facies	35
Relations avec les roches encaissantes	36
II- Etude pétrographique	36
Les migmatites du flanc Est	36
Le granite	37
III- Etude chimique	37
Conclusion	38
CHAPITRE III - Le massif des Vavavato	39
Introduction	39
I- Constitution géologique	39
Système du Graphite encaissant	40
1 ^o Le granite des Vavavato	40
2 ^o Les migmatites des Vavavato	42
3 ^o Les roches basiques des Vavavato	43
Les pegmatites	43
II- Coupe générale. Dans le massif des Vavavato	44
III- Etude pétrographique et chimique	45
1 ^o Le granite des Vavavato	46
2 ^o Les migmatites des Vavavato	49
Composition chimique des migmatites	51
Conclusions à l'étude du granite et des migmatites des Vavavato	55
3 ^o Les roches basiques des Vavavato	56
Roches basiques à structure conservée	56
Roches basiques à structure granoblastique	57
Interprétation des données pétrographiques	59
Composition chimique des roches basiques	60
Etude du métamorphisme des roches basiques	63
IV- Conclusion à l'étude des Vavavato	67
CONCLUSIONS GENERALES	69
Bibliographie	73

ILLUSTRATIONS

- 1- Esquisse géologique de la région Tananarive-Antsirabe.
- 2- Les Ambatomiranty - région de Tananarive.
- 3- Ambatomiranty de l'Observatoire.
- 4- Ambatomiranty Km.22.
- 5- Roches de la région de Tananarive.

- 6- Diagramme des variations des paramètres al. fm. c. alk. en fonction de si.
Le massif des Vavavato.
- 7- Roches basiques des Vavavato.
Diagramme des variations des paramètres Al. fm. c. alk. en fonction
de si.
- 8- Roches basiques du massif des Vavavato.
Représentation graphique des paramètres C.I.P.W.
- 9- Roches basiques des Vavavato. Diagramme A.C.F.
1^o facies amphibolite sans facies Staurotide Cyanide
2^o facies granulite.
- 10- Structure.
- 11- Déformation du gabbro.
- 12- Transformation des minéraux.

AVANT PROPOS

Je veux tout d'abord rendre hommage aux maîtres dont j'ai reçu l'enseignement et qui m'ont initié aux Sciences géologiques. Monsieur ROQUES auquel va toute ma gratitude, m'a donné dans son cours magistral bien des notions géologiques, mais surtout, il m'a fait partager un peu de son aptitude à observer sur le terrain. Et j'ai retrouvé sa sollicitude lorsque à l'occasion de son dernier voyage à Madagascar, il m'a aidé, alors que les circonstances dans lesquelles je travaillais n'étaient guère favorables, à choisir et à délimiter un domaine de recherches pour la préparation de ce mémoire. Monsieur LAPADU-HARGUES m'avait enseigné la minéralogie, science des plus précieuses dans ce paradis des minéralogistes qu'est la Grande Ile.

A Madagascar pendant trois ans, j'ai eu le très grand avantage de travailler sous la direction de Monsieur BESAIRIE, Correspondant de l'Institut, Chef du Service Géologique. Au cours de la première année, j'ai effectué des levés de carte dans l'Extrême Sud de l'Ile. Puis avec l'évolution du Service Géologique, de plus en plus dirigé vers la recherche minière et les applications économiques de la géologie, j'ai dû consacrer la plus grande partie de mon activité à la prospection et aux études minéralogiques du laboratoire.

Cependant, grâce à la bienveillante insistance de Monsieur BESAIRIE, j'ai pu préparer par des études de terrain les bases du mémoire que je présente ici. Il m'a sans cesse aidé de sa très grande connaissance des problèmes géologiques de l'Ile. Il m'a enfin accordé une aide déterminante en obtenant pour moi, de l'Administration, une prolongation de congé de deux mois qui m'a permis d'achever ce travail.

Je dois aussi remercier Monsieur OBERMULLER, Géologue en Chef de la France d'Outre-Mer, qui est également intervenu dans ce but.

Enfin, pendant quatre mois, j'ai travaillé à l'Université de Clermont. Monsieur ROQUES m'a généreusement ouvert son laboratoire, et m'a largement aidé de ses conseils, pour la préparation et pour la rédaction de ce mémoire. Monsieur LAPADU-HARGUES m'a fait profiter de son expérience dans le domaine chimique.

Je tiens à remercier aussi tous les membres du Laboratoire de Géologie de Clermont qui m'ont apporté une aide, en particulier, le laboratoire de chimie qui a effectué la plus grande partie des analyses chimiques, et celui de spectrographie qui a déterminé un certain nombre de mesures d'âge.

INTRODUCTION

Les hauts plateaux de Madagascar, depuis Tananarive au Nord jusqu'à Antsirabe au Sud, sont constitués par un socle cristallin formé de gneiss, de migmatites et de granites.

Parmi ces granites, certains s'étendent largement, se présentant en masses plus ou moins diffuses dans la série cristallophyllienne. D'autres, au contraire, sont en masses beaucoup plus délimitées dans le socle. Ce sont ces granites bien individualisés que nous nous proposons d'étudier ici.

Dans ce dernier groupe, les uns affleurent en filons rectilignes que l'on peut suivre sur plusieurs kilomètres. Ce gisement inhabituel pour les granites a, depuis longtemps, attiré l'attention des géologues. On leur donne le nom d'Ambatomiranty, terme malgache signifiant "ligne de pierres".

Les autres se présentent en massifs plus ou moins elliptiques. Le petit massif de Behenjy surgit à 35 kms au Sud de Tananarive, avec sa silhouette caractéristique, souvent désigné sous le nom de "casque de Behenjy".

Le massif des Vavavato, de plus grandes dimensions, est à 20 kms au Nord-Ouest d'Antsirabe. Son profil en créneaux et en dents de scie lui a valu son nom qui veut dire en malgache : "les dents en pierre".

TRAVAUX ANTERIEURS

Les levés géologiques de reconnaissance au 1/200.000 ont établi la structure d'ensemble de la région. Ils ont été effectués par L.LAPLAINE pour la feuille de Tananarive, par A.LENOBLE (1938) pour la Feuille Ambatolampy, par J.GUIGUES pour les feuilles Ambatolampy, Antsirabe et Betafo.

Ces études ont fait l'objet de deux thèses : Les terrains cristallins de la partie centrale de Madagascar, par J.GUIGUES (Nancy 1952) ; Etude géologique du massif cristallin malgache à la latitude de Tananarive par L.LAPLAINE (Nancy 1953).

H.BESAIRIE a intégré ces différents travaux dans la stratigraphie générale de Madagascar. Enfin, de nombreux renseignements pétrographiques et des analyses de roches ont été puisés dans la "Minéralogie de Madagascar" de

A. LACROIX (1922).

Les granites Ambatomiranty n'ont pas été spécialement étudiés. Il faut cependant signaler une note du R.P. MUTHUON (1914) parue dans le Bulletin de l'Académie Malgache. Elle traite des alignements granitiques de la région de Tananarive et son auteur fut le premier à décrire et à nommer les filons d'Ambatomiranty.

Pour le massif des Vavavato, des recherches géologiques, surtout sur l'étude des pegmatites, ont été menées pendant plusieurs années par la Mission du Commissariat à l'Energie Atomique de Madagascar dans les régions d'Antsirabe, Betafo et Mandoto (R. DAVID, P. DUCLOS, O. ORIOFF).

La presque totalité de la région étudiée est couverte par les cartes régulières, en courbes de niveau, au 1/100.000 du Service Géographique. Il existe même, pour les environs immédiats de Tananarive, des cartes au 1/50.000, au 1/20.000 et au 1/10.000. Enfin, toute la zone est couverte par les photographies aériennes que nous avons utilisées largement.

APERCU GEOGRAPHIQUE

La région de Tananarive, l'Imerina, est formée d'un ensemble de collines et de petites chaînes fortement latéritisées. Leurs formes molles, creusées par l'érosion, offrent un paysage assez monotone, coupé de vastes dépressions marécageuses et rizicoles, comme la plaine de Tananarive.

Le massif des Vavavato est une zone vraiment montagneuse, qui dépasse 2000 m d'altitude, et dont l'érosion a déchiqueté les crêtes.

Dans le domaine de l'hydrographie, les différences sont aussi importantes. Dans l'Imerina, les grandes rivières, l'Ikopa, la Sisaony, coulent à travers des plaines d'alluvions marécageuses; les fortes crues de saison humide submergent les basses terrasses de leurs tourbillons rouges; puis leur succèdent des étiages très faibles, seuls quelques filets d'eau claire divaguent à travers les bancs de sable. Peu de petits cours d'eau pérennes dans la région, mais un écoulement brutal au moment des orages dans des thalwegs dont les plus larges et les plus proches des villages sont aménagés en rizières. Les éléments transportés sont de calibre réduit; sables et limons teintent fortement les eaux et donnent aux rivières la couleur de la latérite.

Les cours d'eau des Vavavato ont tous des pentes très fortes, leur régime est torrentiel, mais leur écoulement se maintient en saison sèche; ils ont profondément entaillé le granite dont les gros blocs encombrant leur lit.

L'ensemble de la région est bien pourvu de routes et de pistes, mais alors que l'Imerina est très peuplée, le massif des Vavavato est presque désert et il faut emprunter des pistes de boeufs très escarpées pour le traverser.

APERCU GEOLOGIQUE

De Tananarive à Antsirabe, les formations précambriennes occupent les deux tiers de la région. Elles constituent une puissante série cristallophyllienne (Système du Graphite) essentiellement migmatitique, recoupée par les granites ambatomiranty, le granite des Vavavato. Elles s'envoient au Sud-Est dans le triangle formé par les villes d'Ambatolampy, Faratsiho et Antsirabe, sous le massif volcanique néogène et pléistocène de l'Ankaratra. Les formations récentes d'origine lacustre (pléistocène d'Antsirabe) n'occupent qu'une surface négligeable par rapport aux deux unités précédentes (voir la carte d'ensemble).

1° LE SYSTEME DU GRAPHITE.- Cet ensemble gneissique et migmatitique occupe une position stratigraphique moyenne dans la série cristallophyllonienne de Madagascar. Il a une grande diversité dans les facies pétrographiques. Dans la région étudiée, il est essentiellement représenté par des gneiss à biotite et pyroxène. Sa principale caractéristique est la présence quasi générale de couches de graphite.

2° LES MIGMATITES.- Elles sont très abondantes dans cette série et représentent toute une catégorie de roches décrites dans bien d'autres régions de Madagascar. Elles ont été divisées, d'après les critères établis sur des observations de terrain et non de laboratoire, en migmatites schisteuses et migmatites granitoïdes.

Les migmatites schisteuses, terme créé par H.BESAIRIE, correspondent à un facies très répandu à Madagascar. Il est fait d'un empilement régulier de lits quartzofeldspathiques et de lits gneissiques ou micaschisteux, plus riches en ferromagnésiens. Nous revenons ici à la définition même de J.J.SEDERHOLM pour le terme de migmatite : "mélange inextricable de gneiss et de granite".

Les migmatites granitoïdes et granite migmatitique.- Les migmatites granitoïdes apparaissent en vaste massif au sein des migmatites schisteuses. Il s'agit d'un terme intermédiaire entre ces roches et le granite. Elles n'ont pas la texture des anatexites, elles montrent un caractère gneissique fruste, car les ferromagnésiens sont dispersés parallèlement entre eux, sans former de véritables lits. Parfois elles se chargent de porphyroblastes feldspathiques, généralement

alcalins, et prennent alors le facies oeilé.

Il s'agit d'un phénomène diffus, progressif, et il est difficile de parler d'un front des migmatites.

Leur gisement est complexe car elles ne s'ordonnent pas autour d'un granite d'anatexite. Elles forment avec le "granite migmatitique" des ensembles à contour diffus, souvent stratoïdes, au milieu des migmatites. Il faut noter l'association courante avec les facies malgachitiques ou charnokitiques à pyroxène.

Liés aux migmatites granitoïdes, on observe des bancs d'épaisseur variable, d'un granite leucocrate riche en petits cristaux d'orthite à auréoles rouges. Un exemple classique est celui du granite de Tananarive qui forme la majeure partie de la colline du Palais de la Reine. Ce granite, qui a une très grande extension dans tout le système du graphite, se présente toujours en gisement stratoïde au milieu des migmatites. Bien qu'il soit beaucoup plus leucocrate que les migmatites granitoïdes, et que sa texture soit plutôt grenue, il est parfois difficile sur le terrain de différencier ces deux derniers types de roches. Aussi bien, sur les cartes géologiques de reconnaissance, sont-ils groupés sous le terme de migmatites granitoïdes.

3^e LES FORMATIONS RECOUPANTES. - Elles forment plus précisément l'objet de cette étude. Ce sont :

- les Ambatomiranty : granites filoniens, généralement recoupants de la région de Tananarive.
- le petit batholite de Behenjy, intrusif dans la série du Graphite.
- le massif granitique des Vavavato, exemple assez rare à Madagascar d'un gisement batholitique.

Chapitre I

LES GRANITES AMBATOMIRANTY

DEFINITION.— Les anciens auteurs avaient été frappés par les alignements granitiques, très spéciaux, de la région de Tananarive, qui s'étendent surtout au Sud de la ville. Le R.P. MUTHUON fut le premier, en 1914, à décrire ce gisement de roche granitique et il dénomma "Ambatomiranty", c'est-à-dire ligne de pierres en malgache.

L'Ambatomiranty est un granite à grain fin, très cohérent, d'une couleur qui va du gris clair au gris fonce; il se présente à l'affleurement sous forme de boules faisant saillie dans la latérite. C'est un élément caractéristique du paysage aux environs de Tananarive : alignements de boules d'une grosseur inégale, de couleur sombre, fichées dans la latérite rouge. Bien en relief sur les pentes et les crêtes des collines, elles disparaissent plus ou moins dans les zones de rizières et de marécages. Leur résistance à l'altération est remarquable; ce sont souvent les seules roches fraîches au milieu des gneiss et des migmatites désagrégés et latérisés. On les emploie, débités en moellons comme bordures de trottoirs; des essais de résistance à l'usure pour les gravillons routiers, effectués au Service Géologique de Madagascar, ont donné un coefficient particulièrement faible, presque identique à celui des basaltes. Très réperables sur les photographies aériennes, on peut suivre ces filons sur plusieurs centaines de mètres, voire même sur plusieurs kilomètres, alors que la largeur varie de quelques mètres à 25 ou 30 mètres au maximum. Les granites ambatomiranty ont été considérés longtemps comme spécifiques de la région de Tananarive. Cependant, des facies identiques ont été signalés par J. GUIGUES dans la carte Ambatolampy, par GIRAUD et GIRAUDON sur Maevatanana; des échantillons récoltés par H. BESAIRIE, dans la région de Fianarantsoa, se sont révélés être de véritables Ambatomiranty. Il semble bien, et nous y reviendrons dans les différents chapitres, que ce facies, qui aurait passé inaperçu dans les feuilles de reconnaissance, soit assez général sur les Hauts Plateaux malgaches.

GISEMENTS ET SITUATION.— La carte géologique au 1/200.000 de Tananarive nous apporte une vue d'ensemble sur ces alignements granitiques, en filons particu-

lièrement importants au Sud et au Sud-Ouest de la ville. La cartographie de détail des Ambatomiranty montre qu'ils ne sont pas aussi étendus qu'ont voulu le dire les anciens auteurs. Les alignements atteignant plusieurs kilomètres sont rares. Il s'agit le plus souvent de grandes lentilles ayant une direction générale commune, souvent décalées les unes par rapport aux autres. Sur le terrain, l'Ambatomiranty se présente comme un amas chaotique de boules, parfois aplaties suivant leur plus grand axe, perpendiculairement à la direction générale.

La majorité et les plus importants d'entre eux se situent dans les zones de migmatites, généralement de migmatites granitoïdes, plus rarement de gneiss à pyroxène et de quartzites. Au Km.22 de la route d'Antsirabe, à la hauteur du pont sur la rivière Sisaony, les granites ambatomiranty affleurent de part et d'autres de la route dans les migmatites et se prolongent jusqu'aux abords du massif de Behenjy. Il en est de même au Nord-Ouest dans le petit massif de l'Ifandro, dans la région d'Androhibe. A l'Ouest, le long de la route d'Arivonimamo à Ambatomirahavavy; au Nord, enfin, aux abords du chef lieu de district d'Ambohidratrimo.

Un exemple particulièrement intéressant est celui de l'ambatomiranty de l'Observatoire situé à l'Est et au Sud-Est de la ville de Tananarive proprement dite et qui a comme axe principal le village de Tanjombato au Sud et la colline de l'Observatoire au Nord. Il a été choisi pour l'importance de ses affleurements, que l'on peut suivre sur plus de six kilomètres; pour le fait qu'il recoupe des formations variées : gneiss à pyroxène, quartzites, migmatites; enfin les carrières ouvertes pour les besoins de la capitale fournissent de bonnes coupes.

L'alignement débute au village de Tanjombato, dans les gneiss à pyroxène que l'on voit affleurer un peu plus au Sud. On le retrouve à Androndrakely, dès le passage à niveau, se poursuivant depuis la limite Est du village jusqu'au Sud-Ouest d'Ambatolava. Il marque ici une discontinuité dans les gneiss à pyroxène pour réapparaître au Nord-Est de Fenomanana. On le suit d'une manière intermittente, toujours dans les gneiss à pyroxène, jusqu'à Ankadivory et à l'Ouest de la route de Mandrozeza.

L'Observatoire de Tananarive est bâti au sommet de la colline sur cet alignement, alors qu'en contre bas affleurent les quartzites; il en est de même au champ de tir. Aux abords du village d'Andraisoro et sur le flanc Ouest de l'Ankatso, l'ambatomiranty disparaît dans les migmatites granitoïdes. Sur le flanc Est, il forme la colline d'Ambatomaro au contact des migmatites. On ne le rencontre pas sur la crête même de l'Ankatso où affleure un granite rose nettement cataclastique. Nous reviendrons sur ce fait dans l'étude pétrographique.

Il existe d'autres granites ambatomiranty de moindre importance dans les gneiss à pyroxène : alignements du village d'Ambatoroka et du Séminaire, d'Alasora au Sud de Mahazoarivo, mais il s'agit d'intercalations réduites au milieu des migmatites.

Il faut noter que certaines roches crystallophylliennes et de granitisation semblent exclure la présence de granites ambatomiranty. Ils sont complètement absents des facies malgachitiques, des granites monzonitiques ou alcalins comme le granite de Tananarive, le granite de Carion, les granites récents de type Behenja, essentiellement microcliniques. En résumé, l'étude de terrain montre que ces alignements granitiques se situent de préférence dans les migmatites, voire même dans les migmatites granitoïdes, et que les formations gneissiques qu'ils recoupent quelquefois ne sont que des intercalations réduites à l'intérieur des roches migmatitiques.

ORIENTATION.— Les granites ambatomiranty ont une direction générale Nord 45° Est, bien visible sur la carte d'ensemble. En fait, ce n'est que l'orientation moyenne et elle varie dans le détail de Nord 25° Est à Nord 50° Est. Les grands alignements du PK.22 de la route d'Antsirabe et de la vallée de la Sisaony, ceux de la route de Majunga à Ambohidratrimo et Ampanatoavona, celui de l'Observatoire de Tananarive, s'orientent Nord 45° Est. Cependant, la direction est Nord 25° Est au Sud-Ouest du village d'Ambatomaro, d'Androibe, d'Ilafy au Nord et pour les affleurements de la route d'Arivonimamo à la hauteur du village Ambatomirahavavy. Tous ces granites, malgré leur direction variable, recoupent la schistosité des roches encaissantes.

Le granite ambatomiranty du village de Bemasoandro, sur la route d'Andramasina, à 2,500 km du pont de la Sisaony, est intéressant par sa position et son gisement. Cet alignement, qui affleure dans les migmatites granitoïdes et parfois dans les quartzites, a une direction à peu près constante Nord 25° Ouest sur 4,500 km. Il se poursuit en aval du pont de la Sisaony, au-delà des grands alignements Nord, Nord-Est, avec une orientation de Nord 15° Ouest à Nord 25° Ouest, mais les contacts ne sont pas visibles (voir pl. N°4). Il ne recoupe pas les roches encaissantes au contraire, il est sensiblement parallèle à leur foliation. Ce mode de gisement est rare dans la région de Tananarive; d'autres exemples, d'importance bien moindre, existent aux abords de la colline de l'Ankatso et sur la route d'Arivonimamo. Ils sont beaucoup plus difficiles à déceler sur les photographies aériennes.

J. GUIGUES, sur la feuille d'Ambatolampy, a signalé en 1952 la présence dans les migmatites granitoïdes de granites de type ambatomiranty, généralement parallèles à la foliation. Il donne comme exemple la région d'Anjamanga, au Sud-Ouest d'Ambatolampy, où les lames granitiques parallèles aux roches encaissantes ont des structures identiques aux ambatomiranty.

Si on étudie en détail un de ces filons granitiques, on s'aperçoit qu'il ne conserve pas la même direction sur toute sa longueur, mais qu'il subit des déplacements latéraux. L'ambatomiranty de l'Observatoire a une orientation générale Nord 40° Est, qu'il conserve depuis le village de Tanjombato au Sud, jusqu'à celui d'Andraisoro. Elle varie sensiblement au Sud-Ouest d'Ambatomaro passant à Nord 25° Est et l'ensemble est décalé par rapport à la ligne de crête de la colline de l'Ankatso (voir fig.3).

Les granites ambatomiranty jalonnent dans de nombreux cas les zones où les mouvements tectoniques ont été intenses. Au PK.22 de la route d'Antsirabe, on peut mettre en évidence une série de fractures et de directions de déformation suivant les alignements granitiques, ou perpendiculaires à ceux-ci. Ces accidents tectoniques pourraient réaliser des conditions favorables à une transformation des migmatites en granite par recristallisation granoblastique.

POSITION STRATIGRAPHIQUE.- Les granites ambatomiranty recoupent les migmatites du socle, renfermant parfois des enclaves de ces roches. Ils sont donc postérieurs au métamorphisme général qui a affecté la série de Tananarive.

La position relative de l'ambatomiranty peut être précisée pour sa limite supérieure. En effet, nous avons vu que dans un cas particulier (l'alignement de l'Observatoire de Tananarive) il est recoupé par un granite microclinique, de couleur rose, très orienté, ayant beaucoup d'analogies avec les granites récents de type Andringitréen.

Je dois au Laboratoire de Géologie de Clermont-Ferrand la détermination de l'âge apparent de zircons provenant d'un granite ambatomiranty de la région de Tananarive (Ambatoroka). La valeur trouvée est :

1050 millions d'années avec une erreur relative $\pm 10\%$.

Il faut noter qu'il s'agit d'un zircon clair, assez gros, sans différenciation de couleur, pauvre en plomb, avec une faible radioactivité. Cet âge date la formation de ce granite qui a suivi de peu la migmatisation proprement dite de la Série de Tananarive. Dans l'état actuel de nos connaissances sur la chronologie de Madagascar, cet âge coïncide avec la limite supérieure de la Série des Cipolins : 1.125 millions d'années, donné par les deux galènes d'Ambanodrano et d'Ambatofangehana, recoupant la Série des Cipolins, et en rapport avec le complexe granitique d'Ambatofinandrahana.

On peut surtout mettre en parallèle l'âge trouvé pour les Ambatomiranty, avec les 1100 millions d'années de la pegmatite à monazite du Manangotry (Nord-Est de Fort-Dauphin) qui est en liaison avec les granites et charnockites des Chaînes Anosyennes. Ceci montrerait l'importance qu'il faut accorder à la migmatisation et à la granitisation ainsi datées, qui englobent de vastes ensembles comme les granites Anosyens et les migmatites granitoïdes de la région centrale de Madagascar.

PETROGRAPHIE

Le granite Ambatomiranty est une roche mésocrate, dont la couleur varie du gris au gris foncé, très cohérente et à grain généralement assez fin. Le type

moyen, représenté par les roches qui affleurent autour de l'Observatoire de Tananarive, a la composition minéralogique suivante :

L.M.1308

- Quartz limpide à extinction roulante : abondant
- Microcline relativement abondant - présence de myrmékite.
- Plagioclase 2V = -82° Oligoclase An 18.
les cristaux de plagioclase sont souvent séricitisés et à extinction roulante.
- Biotite aux formes déchiquetées, à fort polychroïsme, associée à de la hornblende verte.
- Sphène particulièrement abondante, apatite, zircon, calcite.
- Minéraux opaques : magnétite, ilménite. Allanite rare. Grain fin, isogramulaire. Structure granoblastique et enchevêtrée.

Etude minéralogique des différents éléments de la roche. - Le quartz est toujours en quantité notable de l'ordre de 15 à 20% dans les lames minces. Limpide, mais à extinction roulante, il se présente, soit en cristaux xénomorphes de taille moyenne, soit en petits éléments de recristallisation dans les facies à structure porphyroblastique et cataclastique (F.1348). Dans certains cas (F.1325), on peut voir au microscope une bordure kélyphitique de quartz entre les plagioclases transformés et le microcline plus ou moins envahissant; la myrmékite accompagne toujours ce phénomène.

Par ordre d'importance, les feldspaths potassiques se placent après le quartz. Ils se présentent sous deux formes minéralogiques : l'orthose et le microcline quadrillé qui est le plus abondant. Les granites Ambatomiranty, à l'intérieur des gneiss à pyroxène, sont en général riches en cristaux de microcline (F.1428, F.1310), alors que ceux qui recoupent les migmatites contiennent de l'orthose souvent perthitique (F.1303, F.1353). Le microcline se présente en plages de dimensions réduites, aux formes sinueuses, parfois en doigts de gants. Il contient toujours des résidus de plagioclase avec formation quasi générale de myrmékite. L'orthose est en cristaux beaucoup plus gros, aux formes plus nettes, et il est finement perthitique. Les mesures d'angle varient autour de 2V = -60°, donnant un microcline anorthosique à 45 % d'analbite.

Les plagioclases des granites Ambatomiranty ont des caractères communs. Il s'agit toujours d'un oligoclase moyen (An18 à An20) maclé albite péricline, et les cristaux sont bien souvent séricitisés, sont déchiquetés, rongés par le microcline envahissant. Dans certaines lames, ils ne sont plus qu'un résidu à l'intérieur du microcline (F.1325). L'ambatomiranty typique, à structure granoblastique et à grain fin, est assez pauvre en plagioclase (F.1338). Nous verrons qu'au contact des migmatites, les plagioclases sont plus abondants et en cristaux beaucoup plus gros. Dans quelques structures cataclastiques du granite, les plagioclases sont tordus, déformés, et présentent alors une extinction roulante (F.1403); de plus, ils se chargent de gouttelettes de quartz. Enfin, dans des cas assez rares, ils sont saussuritisés.

Les ferro-magnésiens sont relativement importants et donnent à l'Ambatomiranty sa couleur sombre, plus foncée même que celle des migmatites. La teneur varie mais, parfois, à l'affleurement, le granite passe à une roche mésocrate, ressemblant à une diorite quartzique. La biotite est la plus importante et possède ici certaines caractéristiques minéralogiques. Les cristaux sont de petite taille, déchiquetés, frangés, avec toujours un polychroïsme intense, du jaune clair au brun rouge; les inclusions de zircon sont fréquentes. Dans presque toutes les lames minces, on note l'association étroite de la biotite et de l'amphibole (hornblende verte). Non seulement les cristaux se juxtaposent, mais on voit des traînées de biotite dans la hornblende verte (F.1307, F.1426). Il est difficile de montrer dans quel sens se fait la transformation : les deux minéraux sont le plus souvent imbriqués avec des bordures kélyphitiques de zoïsite et d'épidote. Il s'agit pourtant, semble-t-il, d'une formation de biotite à partir de l'amphibole. En effet, dans de nombreux cas, de tout petits cristaux de biotite paraissent se former "in situ" dans la hornblende verte. De plus, les minéraux calciques pouvant provenir, en partie, de la décomposition de l'amphibole : épidote, zoïsite, sphène, apatite, calcite même, sont abondants dans toutes les lames minces présentant cette transformation. On rencontre aussi quelquefois des cristaux de kataphorite (mélange de hornblende commune et d'amphibole sodique).

Les autres minéraux caractéristiques du granite Ambatomiranty sont le sphène, aux formes résiduelles, et l'apatite toujours en quantité notable; la magnétite, l'ilménite et le zircon. La magnétite et le sphène sont associés, ce dernier minéral formant une auréole kélyphitique autour de la magnétite.

Variation de facies. - On observe sur le terrain, dans un même alignement, des variations sensibles du grain et de la teneur en ferromagnésiens. A Ambatomaro et à Ambatoroka, l'Ambatomiranty passe sans discontinuité à un granite porphyroïde de composition à peu près identique. Les différences que l'on observe dans l'étude pétrographique de détail sont en rapport avec la composition des roches encaissantes. Elles ne semblent pas intervenir dans la composition chimique d'ensemble du granite, mais influent sur les structures et la composition minéralogique.

L'alignement granitique de l'Observatoire à Tananarive possède les caractères communs aux Ambatomiranty; il est intéressant d'étudier ses variations en rapport avec les différentes roches qu'il recoupe. Dans la partie Sud où la roche encaissante est un gneiss à pyroxène, les échantillons prélevés depuis Andronrakely jusqu'à la route de Mandrozeza sont sensiblement identiques. La roche (F.1430) les caractérise. Voici sa composition :

- Quartz ayant souvent une extinction roulante.
- Microcline abondant - myrmékite
- Plagioclase rare (oligoclase) et séricitisé
- Biotite déchiquetée, à fort polychroïsme, associée à la hornblende verte (transformation d'amphibole en biotite)
- Sphène - Apatite - Zircon - Calcite secondaire - Magnétite.

Le grain est moyen ou fin; la structure granoblastique, parfois enchevêtrée.

D'après l'étude microscopique de ces échantillons, cette zone conserve les caractères communs à tous les Ambatomiranty, mais possède les particularités suivantes : l'abondance de microcline, la rareté relative des plagioclases toujours séricitisés, l'association constante amphibole-biotite, la présence générale de sphène, apatite, et même de calcite secondaire. Enfin, la roche est homogène, isogrenulaire et à grain fin.

Les lames minces effectuées dans les gneiss à pyroxène encaissants (F.1429, F.1431, GR.8) révèlent une composition minéralogique très proche de celle de l'Ambatomiranty. Ceux-ci sont cependant beaucoup plus riches en plagioclase (Andésine An₅₂) beaucoup plus pauvres en quartz et surtout à peu près dépourvus d'orthose et de microcline. L'ouralitisation poussée des pyroxènes (augite aegyrinique et diallage) dans les gneiss, les a transformés en hornblende verte, avec un début de formation de sphène et d'apatite. On remarque même une deuxième transformation d'amphibole en biotite. Un échantillon pris dans la carrière OTTINO, au milieu d'un affleurement de "gneiss à pyroxène" est en fait un véritable gneiss à amphibole et biotite ne contenant plus aucune trace de pyroxène. Leur grain est plus grossier que celui du granite, la structure est orientée, nématoblastique, mais sans trace de cataclasme. On pourrait suivre la transformation depuis le gneiss normal qui s'enrichit en plagioclase, se change en gneiss à amphibole et biotite par ouralitisation pour aboutir au terme final, le granite, où je n'ai jamais rencontré de pyroxène, mais l'association biotite-hornblende verte, s'accompagnant d'une formation de minéraux calciques : sphène, apatite, calcite secondaire. L'Ambatomiranty peut être considérée dans ce cas comme le résultat de cette transformation obtenue par recristallisation et apport notable de silicium et de potassium, sous forme de quartz, orthose et surtout microcline accompagné de myrmékite.

Aux abords de l'Observatoire et du champ de tir, la composition minéralogique du granite qui affleure ici dans les quartzites est à peu près analogue à celle qu'il avait au Sud, mais l'amphibole est un peu plus rare et le plagioclase plus abondant. La structure est granoblastique et enchevêtrée.

Des changements notables apparaissent au Sud d'Andrasoro et au Sud d'Ambatomaro, au contact des migmatites granitoïdes. Les minéraux constituant la roche sont les mêmes, mais on note une plus grande quantité de plagioclases séricitisés alors que le microcline est plus rare. La structure est plutôt porphyroblastique (F.1390) avec de gros plagioclases en résidus, parfois cataclastique. Dans les carrières d'Ambatomaro, l'Ambatomiranty, au contact des migmatites, présente un faciès à gros grain, de structure ophitique. La transformation en granite semble ici être moins poussée, et on serait plus éloigné du type classique de l'ambatomiranty.

J'ai déjà signalé dans le chapitre intitulé "gisement" que les alignements granitiques ne traversent pas la colline de l'Ankatso, ou plus précisément

le granite qui couronne sa ligne de crête. Orienté Nord-Sud, il est partout concordant avec les roches métamorphiques du socle. De couleur rose, à grain généralement moyen, il contient aussi bien des passages pegmatitiques que des passages à grain fin. En lames minces (F.1388 - GR.15) il est essentiellement formé de microcline et d'orthose finement perthitique, de quartz métasomatique en petits cristaux et il est presque dépourvu d'éléments colorés. Il a une structure à cloisons où la pâte est formée par le quartz. En bien des points, il est identique au granite du petit batholite de Behenjy. Les observations de terrain semblent montrer que sa mise en place est postérieure à celle de l'Ambatomiranty. Il est possible, cependant, que sa composition essentiellement potassique ait empêché la formation du granite ambatomiranty. On remarque en effet, que ce dernier est absent des granites potassiques en général, voire même des granites riches en microcline ou en orthose : granite de Carion, granite de Tananarive.

ETUDE DES ENCLAVES ET DES CONTACTS.- Mis à part quelques filonnets feldspathiques ou pegmatitiques, il est assez rare de trouver des enclaves dans le granite ambatomiranty. J'en ai rencontrées, formées de migmatites granitoïdes dans l'alignement situé au Nord-Ouest du Champ de tir et au Kilomètre 18,600 de la route de Majunga. Elles sont toujours réduites, quelques décimètres de long au maximum. Aux abords de la route du Sud, les grands alignements de la vallée de la Sisaony contiennent assez souvent des septa basiques, très riches en ferro-magnésiens. C'est le plus souvent une roche analogue à une diorite micacée, à texture granoblastique fine (F.1417. P.K.29,9 de la route d'Antsirabe). Les constituants sont : microcline, quartz, plagioclase (andésine), biotite, hornblende et apatite en petites baguettes.

Au kilomètre 23,800 de la même route, on peut voir le passage progressif d'une roche mélanocrate au granite Ambatomiranty typique. A l'affleurement, l'échantillon (F.1409) à grain très fin, à cassure esquilleuse, a l'aspect d'une diorite et l'on voit des phéno-cristaux de feldspath au milieu de la pâte. Il passe en continuité à une roche gris foncé (F.1408), toujours à grain fin, mais plus riche en biotite. La transformation se poursuit, les échantillons devenant de plus en plus clairs, et à grains plus gros, pour aboutir à l'ambatomiranty normal qui forme l'essentiel de l'alignement.

Au microscope, la lame mince (F.1409) présente un grain très fin, une structure enchevêtrée, et elle est riche en ferro-magnésiens formés de hornblende verte et de biotite. Au milieu de cette pâte apparaissent des phénoblastes de plagioclase et d'orthose qui ont repoussé les anciens éléments de la roche. A quelques mètres de là (F.1408), la structure est à peu près analogue, mais le microcline apparaît en bourgeons dans la lame mince, donnant des myrmékites au contact des plagioclases. Il y a parfois formation de calcite secondaire entre les deux feldspaths. Le quartz de recristallisation est plus abondant que dans F.1409 : les ferro-magnésiens sont en lits parallèles créant une structure nématoblastique. A mesure que l'on s'approche de l'Ambatomiranty typique (F.1405), le quartz de recristallisation et le microcline augmentent,

la biotite prédomine sur l'amphibole, la structure devient granoblastique ou "en pavés", avec des reliques de phénoblastes de plagioclases. Le sphène apparaît à la fin de la transformation avec des formes losangiques, la biotite très polychroïque est quelquefois accompagnée d'épidote et de zoïsite.

La transformation d'une roche basique en Ambatomiranty que l'on suit ici sur le terrain se fait donc par une augmentation des minéraux potassiques et alumineux, diminution des ferro-magnésiens, apparition des minéraux calciques (apatite sphène), caractéristiques de la transformation des roches basiques. De plus, le grain s'accroît, la structure, hétérogranulaire au début, devient isogrenulaire et granoblastique.

Les contacts avec les roches encaissantes sont souvent difficiles à observer. L'ambatomiranty en boules repose sur les gneiss ou les migmatites sans qu'aucun contact soit visible. A 800 m au Sud-Ouest d'Ambatomeno, des amandes de quelques mètres sont incluses dans les migmatites granitoïdes comme pourraient l'être des lentilles de pegmatite. A Ambohijena, au Sud-Ouest du village, une carrière ouverte dans les migmatites montre au front de taille un contact entre l'ambatomiranty et la migmatite. Il est sinueux mais franc et s'effectue avec une accumulation de biotite. Les filonnets de pegmatite à orthite qui recoupent la migmatite semblent se résorber dans l'ambatomiranty.

Parfois (Rk.26 de la route d'Antsirabe), on peut observer, aux abords d'un alignement d'ambatomiranty, des filons de ce granite pénétrant dans les roches encaissantes obliquement par rapport à leur schistosité. C'est un granite de couleur grise, finement grenu (F.1410), composé de quartz, microcline, oligoclase, biotite associée à de la hornblende verte, magnétite, sphène et zircon. Il est à grain fin, de structure granoblastique. Ses bords irréguliers sont accentués par une bande ferrugineuse. Il est semblable en tous points au granite ambatomiranty dont il semble provenir. Ces petits filons existent souvent, loin d'un véritable ambatomiranty. Ils ont été signalés par L. LAPLAINE dans les migmatites granitoïdes de la carrière d'Analamahtsy où leur mode de gisement est beaucoup plus facile à étudier.

Dans chaque cas, ils recoupent la schistosité des migmatites ; ils sont à bords irréguliers, rarement parallèles, mais ils présentent des renflements et des indentations. Ce "petit granite" contient souvent des enclaves de migmatites granitoïdes qui ont gardé une schistosité parallèle à celle de la roche encaissante ; mais il est recoupé en de nombreux endroits par les pegmatites à orthite, comme l'est la migmatite.

Un exemple analogue se situe dans la carrière du P.K.23,800 de la route d'Antsirabe. L'ensemble de la colline à l'Est de la route est formé par un ambatomiranty de direction Nord 45° Est. En contre bas, l'ambatomiranty passe à une migmatite granitoïde, sans que l'on puisse repérer correctement le contact. A l'intérieur de la migmatite, une série d'enclaves plus sombres, toutes orientées, se sont montrées au microscope comme étant de véritables

ambatomiranty, avec l'association caractéristique : biotite, amphibole verte, sphène, apatite et magnétite.

L'étude pétrographique nous amène déjà à quelques conclusions : on peut envisager ce granite comme intrusif ou comme formé par métasomatose. La première solution peut expliquer le fait que les alignements granitiques aient une direction préférentielle et qu'ils recoupent la schistosité des roches encaissantes. Mais leur localisation est restreinte, ils ne semblent affecter que les gneiss et les migmatites granitoïdes, négligeant même les granites migmatitiques, ce qui est peu compréhensible pour de véritables filons. Nous avons vu que, dans la région d'Ambatolampy, J. GUIGUES signale la présence de granites analogues concordants dans les migmatites granitoïdes ; d'autre part, dans la vallée de la Sisaony, les alignements sont en rapport étroit avec des zones de dislocation. Enfin, si on compare l'ambatomiranty avec des granites de type intrusif tardifs (granite de Behenja), on voit que sa composition chimique est nettement différente.

Au contraire, il présente des ressemblances minéralogiques avec les roches encaissantes et une continuité apparaît dans cette transformation qui commence dans les gneiss par une ouralitisation des pyroxènes, se poursuit par un apport de silice et de potasse et par un départ de calcium.

Les différentes observations exposées dans ce chapitre tendent à montrer que l'ambatomiranty résulterait d'une transformation minéralogique avec échanges chimiques "in situ", plutôt que de la montée d'un magma intrusif ayant digéré le socle. Dans ce dernier cas, on devrait avoir pour le granite une composition voisine des roches les plus profondes, les plus métamorphiques, à savoir le granite migmatitique comme celui de Tananarive ; or, il n'y a pas beaucoup de points communs entre les deux compositions minéralogiques. L'étude des enclaves contenues dans le "petit granite" des carrières de Tananarive montre que ces septa migmatitiques ne sont pas déplacés par rapport à la schistosité des roches encaissantes, ce qui serait peu probable dans le cas d'une digestion du socle. Enfin, toutes les structures d'ambatomiranty montrent une corrosion intense des minéraux et du quartz en abondance.

On peut rejeter déjà l'hypothèse d'un champ filonien de type "microgranite" recoupant une série intensément migmatisée. En effet, les structures ne sont pas celles de roches éruptives, mais recristallisées par métasomatose.

L'exemple du P.K.23,800 de la route d'Antsirabe nous apporte peut-être une solution. Nous avons vu, en effet, une roche essentiellement basique, déjà transformée certes, passer en continuité au granite par le processus décrit précédemment. Ces facies basiques ne sont pas rares ; ils existent dans les ambatomiranty de la vallée de la Sisaony (signal d'Ambatovaky), au village d'Ambohijenaka, et on peut leur accorder une certaine généralité.

On est frappé par l'ampleur de ces granites, surtout dans la région Sud-Ouest de Tananarive, par leur direction préférentielle, par le fait qu'ils

sont souvent en rapport avec d'anciennes dislocations, enfin par les facies basiques qu'ils renferment. On peut alors admettre l'hypothèse suivante : il s'agit d'anciens filons éruptifs, basiques, recoupant à une certaine période les schistes cristallins, repris au cours du métamorphisme général, ou plus exactement de la migmatisation. Les différences relatives enregistrées avec les roches encaissantes proviendraient essentiellement de l'intensité du métamorphisme des roches recoupées.

L'échantillon F.1409 montre la naissance des phénoblastes de feldspath au sein de l'ancienne structure et on peut suivre cette évolution jusqu'au granite sans discontinuité. L'Ambatomiranty recoupant les gneiss est isogranaulaire, à structure granoblastique, elle devient porphyroblastique dans les migmatites granitoïdes et nous avons vu qu'à part quelques toutes petites lentilles, il est absent du granite migmatitique. Il semble aussi qu'il ait sa pleine extension dans les migmatites granitoïdes et que, par suite de l'intensité du métamorphisme, il ait disparu des facies les plus profonds. Sa localisation dans les migmatites riches en ferro-magnésiens et les gneiss à pyroxène serait due à leur affinité chimique avec l'ancienne roche basique et leur degré moindre de métamorphisme. Nous allons voir que les analyses chimiques peuvent nous apporter des renseignements complémentaires.

ETUDE DES ANALYSES CHIMIQUES

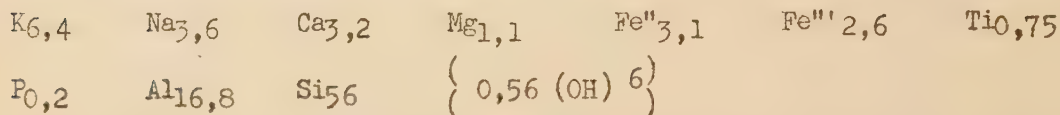
GENERALITES. - La totalité des analyses chimiques nouvelles (14 sur 16) a été effectuée au Laboratoire de Géologie de Clermont-Ferrand par Mlle CHALEIL, les 3 autres par M. ROSE, chef du Laboratoire de Chimie de la Direction des Mines de Madagascar. Au cours de cette étude, un certain nombre d'analyses sont empruntées à différents ouvrages cités au fur et à mesure et plus spécialement à la Minéralogie de Madagascar de A. LACROIX.

Nous avons ensuite envisagé les paramètres de NIGGLI : al-fm-c-alk-k-mg pour étudier les différenciations chimiques.

L'étude pétrographique nous ayant amené, dans certains cas, à considérer comme possible une solution metasomatique, il nous a paru bon d'utiliser la méthode de calcul de BARTH (1948). Elle n'est employée ici qu'à titre indicatif, le nombre d'analyses étant par trop insuffisant ; elle ne sert qu'à mieux montrer les échanges d'éléments déjà suggérés par les compositions chimiques et les paramètres. La mise en évidence de ces échanges ne dépend pas du mode d'expression employé, les variations se faisant dans le même sens.

T. BARTH considère la "cellule standard" de roche comme l'unité de volume contenant un nombre d'atomes d'oxygène égal à 160 et correspondant à un nombre de cations d'un peu moins de 100. D'après cette base, on calcule la quantité de cations combinés à l'oxygène. La composition chimique de la roche est alors exprimée, non plus en oxydes, mais en cations.

Ainsi la formule du granite ambatomiranty est la suivante (F.1390) :



Par cette représentation, il devient facile de comparer plusieurs roches entre elles et de chiffrer leurs transformations. Certains auteurs (BRAJ-NIKOV en particulier) ont reproché à BARTH le fait de considérer un volume toujours constant, quels que soient les échanges de cations au cours des transformations. Cette remarque, peut-être exacte, n'entre pas ici en ligne de compte car nous ne considérons pas le volume de la matière. Nous adoptons ce mode de calcul et cette représentation en tant que telle, en dehors de tout souci de la signification de la "cellule standard".

A partir des résultats de l'analyse chimique, le calcul de BARTH peut être décomposé en cinq opérations :

1^o Calcul des équivalents moléculaires en prenant :

$\text{SiO}_2 - \frac{1}{2} \text{Al}_2\text{O}_3 - \frac{1}{2} \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{MgO} - \text{CaO} - \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{O} - \frac{1}{2} \text{K}_2\text{O}$. en ne tenant compte de l'eau (colonne 2).

2^o Les équivalents moléculaires sont recalculés de façon à ramener leur somme à 100 sans tenir compte de l'eau (colonne 3).

3^o Calcul du nombre correspondant d'atomes d'oxygène, y compris l'oxygène de l'eau (colonne 4).

4^o Ces nombres correspondants d'atomes d'oxygène sont recalculés de façon à ramener leur somme à 160, nombre d'atomes d'oxygène contenus dans la cellule standard (colonne 5).

5^o Calcul des cations de la cellule standard à 160 oxygènes (colonne 6).

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	60,72	101,2	58,8	117,6	112	56
Al ₂ O ₃	15,92	31,2	18,1	27,0	25,2	16,8
Fe ₂ O ₃	4,03	50	2,9	4,3	4,1	2,6
FeO+MnO	4,06	56	3,2	3,2	3,1	3,1
CaO	3,28	58	3,3	3,3	3,2	3,2
MgO	0,91	22	1,2	1,2	1,1	1,1
Na ₂ O	2,12	68	3,9	1,9	1,8	3,6
K ₂ O	5,54	118	6,8	3,4	3,2	6,4
TiO ₂	1,20	15	0,8	1,6	1,5	0,75
P ₂ O ₅	0,63	8	0,4	1	0,9	0,2
H ₂ O	1,03	(114)	(6,6)	3,3		
Total	99,5	1719	99,4	167,8	159,3	100,15

TABLEAU N°1. GRANITE AMBATOMIRANTY F.1.390

Les granites ambatomiranty ont des analogies minéralogiques avec les roches encaissantes, gneiss à pyroxène, migmatites à biotite et amphibole. L'étude chimique comparée de ces différents types pétrographiques doit nous fournir des renseignements sur la genèse des ambatomiranty.

Dans le tableau N°2, nous avons réuni :

- une analyse de gneiss à pyroxène (N°1),
- trois analyses de granite ambatomiranty (N°2.3.4),
- deux analyses de migmatites (N°5.6).

Paramètres C.I.P.W.- Les paramètres américains donnent pour les trois ambatomiranty un granite leucocrate, calco-alcalin, à tendance akéritique. La composition chimique de ces granites ne semble, en aucun cas, être affectée par celle des roches encaissantes.

Si nous comparons maintenant l'ensemble des analyses, nous remarquons :

- que toutes ont un rapport q égal à 4 ,
- que le rapport p varie assez peu de I' à II' ,
- que selon les valeurs respectives des rapports r et s , ces roches sont, d'une part, à la limite des grano-diorites et diorites, d'autre part, à la limite des granites calco-alcalins et akéritiques. La position intermédiaire des ambatomiranty semble leur affecter une certaine instabilité entre deux types beaucoup plus stables.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	61,4	61,8	60,67	60,72	65,04	66,10
Al ₂ O ₃	13,3	16,3	16,41	15,92	12,33	16,30
Fe ₂ O ₃	2,3	3,5	3,50	4,03	4,07	1,65
FeO	1,85	3,25	3,64	3,98	2,40	2,20
MgO	5,0	1,20	1,71	0,91	0,66	1,55
CaO	11,75	3,10	3,55	3,28	4,72	2,60
Na ₂ O	3,35	2,80	3,12	2,12	3,57	4,15
K ₂ O	0,55	5,5	4,35	5,54	5,18	4,20
TiO ₂	0,50	1,40	0,80	1,20	1,35	0,55
P ₂ O ₅		0,54	0,89	0,63	0,50	
MnO	0,05	0,07	0,07	0,08		tr
S		0,09		0,10		
H ⁺ ₂ O	0,50	0,60	0,98	0,93	0,50	0,20
H ₂ O ⁻	0,10	0,15	0,12	0,06	0,06	0,10
Total	100,65	100,30	99,88	99,50	100,22	99,60

Paramètres de NIGGLI

si	173,7	233	222,7	227,6	260,8	265,3
al	22	36,9	35,24	35,05	28,7	38,07
fm	32,4	27,1	29,75	28,7	23,7	23,87
e	35,5	12,6	13,88	13,3	20,1	11,08
alk	10	23,3	21,14	20,89	27,1	26,9
k	0,08	0,56	0,47	0,63	0,48	0,40
mg	0,65	0,27	0,31	0,17	0,16	0,39

Paramètres américains C.I.P.W.

p	II'	(I) II	'II	'II	'II	I'
q	4	4	4	4	4	4
r	3	2	2'	2'	1	2
s	'5	'3	3	2 (3)	3	3'

TABLERAU N°2. ANALYSES CHIMIQUES DES AMBATOMIRANTY ET DE LEURS ROCHES ENCAISSANTES

Références du Tableau n°2 :

- 1 - F.1429 - Gneiss à pyroxène et amphibole. Carrière Ottino, Tananarive.
- 2 - F.1428 - Granite ambatomiranty. 200 m Sud du village d'Ambatolava, dans les gneiss à pyroxène.
- 3 - F.1307 - Granite ambatomiranty - Champ de tir de Tananarive. Dans les quartzites.
- 4 - F.1390 - Granite ambatomiranty - flanc Ouest de l'Ankatso dans les migmatites.
- 5 - Migmatite granitoïde in LACROIX (Minéralogie de Madagascar, page 326. Tome II. Ambatomaro. Tananarive.
- 6 - F.1391 - Migmatite granitoïde. Colline Sud-Est Ambatomaro. Tananarive.

Diagramme de variation.- Dans la figure n°5. nous avons représenté les paramètres al , fm , c , alk , en fonction de si , pour un gneiss à pyroxène, trois ambatomiranty et deux migmatites granitoïdes. On note en premier lieu la position moyenne des ambatomiranty, entre le gneiss et la migmatite. Quant aux courbes, elles se répartissent en deux familles : les courbes al et alk , dans lesquelles l'alumine et les alcalins augmentent avec si , les courbes fm et ca où les ferro-magnésiens et le calcium diminuent alors que la silice augmente. L'analyse n°5, recueillie dans LACROIX amène quelques discontinuités dans les courbes. Cet auteur avait nommé l'échantillon "granite à amphibole et biotite" et son gisement : village d'Ambatomaro, nous a fait présumer qu'il s'agissait d'une migmatite granitoïde. De toute façon, elle n'est employée ici qu'à titre indicatif. Si nous ajoutons sur ce diagramme, à titre de comparaison, les paramètres correspondants pour le granite migmatique de Tananarive, et deux granites récents (granites de l'Ankatso et de Behenja), nous nous apercevons qu'il n'y a plus aucune analogie entre ceux-ci et les ambatomiranty et que ces derniers appartiennent vraiment à une autre famille magmatique.

ESSAI D'INTERPRETATION DES CALCULS DE BARTH.- Le diagramme précédent nous a donné le sens général des variations ; nous allons essayer de préciser ces échanges avec la méthode de T.BARTH. Nous évaluerons les diffusions d'ions qui se sont produites au cours de la transformation présumée d'un gneiss à pyroxène et amphibole, d'une part, d'une migmatite granitoïde d'autre part, en granite ambatomiranty. En nous reportant au tableau n°3, nous voyons que nous avons considéré un granite recoupant les gneiss (F.1428) et un granite recoupant les migmatites (F.1390).

Roches	gneiss à pyroxène	ambatomi- ranty dans gneiss	migmatite granitoï- de	ambatomi- ranty dans migmatite
N° échantillon	F.1429	F.1428	F.1391	F.1390
Si	55,3	56,1	59,7	56
Al	14	17	17,2	16,8
Fe ⁺⁺⁺	1,8	2,2	0,4	2,6
Fe ⁺⁺	1,3	2,5	1,5	3,1
Ca	11,7	3	2,4	3,2
Mg	6,7	1,6	2,0	1,1
Na	3,6	4,8	7,2	3,6
K	0,4	6,1	4,6	6,4
Ti	0,3	0,29	0,35	0,75
P		0,2		0,12

TABLEAU N°3. COMPOSITION CHIMIQUE DES GRANITES AMBATOMIRANTY ET DES ROCHES EN-
CAISSANTES D'APRES LES CALCULS DE BARTH.

	F.1429 à F.1428		F.1390 à F.1428		F.1391 à F.1390		F.1429 à F.1390	
	venue de	dép.de	venue de	dép.de	venue de	dép.de	venue de	dép.de
K	5,7	-	6	-	1,8	-	4,2	-
Na	1,2	-	-	-	-	3,6	3,6	-
Ca	-	8,7	-	8,5	0,8	-	-	9,3
Mg	-	5,1	-	2,4	-	0,9	-	4,7
Fe ⁺⁺	1,2	-	1,8	-	1,6	-	-	1,4
Fe ⁺⁺⁺	0,4	-	0,8	-	2,2	-	-	-
Al	3	-	2,8	-	-	0,4	3,2	-
Ti	0,6	-	0,45	-	0,4	-	-	-
Si	0,8	-	0,7	-	-	3,7	4,4	-

TABLEAU N°4. DIFFUSION DES IONS DANS LES GNEISS, LES MIGMATITES ET LES GRANITES
AMBATOMIRANTY DE LA REGION DE TANANARIVE.

La transformation chimique du gneiss en ambatomiranty se fait ici par une venue importante de potassium et d'aluminium ; l'apport en sodium, fer, silicium et titane étant bien moindre. Il lui correspond un départ important de calcium et de magnésium. L'étude minéralogique indique l'accroissement du microcline avec myrmékite, transformation qui peut se produire par simple apport de potassium et d'un peu de silicium, accompagné d'un départ de calcium. D'autre part, la transformation commencée dès le gneiss, des pyroxènes en amphiboles (ouralitisation), puis en biotite, s'effectue chimiquement par une consommation moindre de calcium, silicium et magnésium. Les ions calcium et silicium perdus dans cette réaction peuvent se recombinaer dans l'ambatomiranty avec l'aluminium, le potassium et le fer, pour donner la biotite ; l'excès de calcium dominant en partie l'apatite et le sphène. Ceci n'explique pas complètement le départ important de calcium et de magnésium constaté dans le passage du gneiss à l'ambatomiranty. Il est plus que vraisemblable que les minéraux calcaires et magnésiens du granite ne les absorbent pas complètement. Cependant, au cours des chapitres précédents, nous avons signalé la présence de facies basiques, riches en calcium et en magnésium, liés aux ambatomiranty. De plus, les zones de migmatites, où prédominent les alignements granitiques, renferment souvent des enclaves basiques : gabbros, diorites, voire amphibolites et pyroxénites.

Si on envisage maintenant les échanges qui interviennent dans la transformation de la migmatite granitoïde en granite ambatomiranty, on remarque tout d'abord qu'ils sont d'importance moindre. Il y a augmentation des ions potassium et calcium, des ions ferreux et ferriques et du titane, diminution des ions silicium, sodium et magnésium.

Le changement minéralogique se manifeste par une diminution de quartz, de plagioclase et d'amphibole dans l'ambatomiranty, une augmentation de biotite, d'apatite, sphène, magnétite et ilménite. Tous ces minéraux donnent au granite son facies mésocrate, plus foncé que celui des migmatites. Quant aux feldspaths potassiques, on passe de la perthite dominante dans la migmatite, au microcline sodico-potassique dominant dans le granite.

Il est intéressant d'étudier, à titre de comparaison, la transformation d'un gneiss à pyroxène en migmatite. La venue d'ions la plus importante est celle de silicium, puis viennent le potassium, l'aluminium et le sodium ; il y a un départ très important de calcium, de magnésium et, éventuellement de fer. Au point de vue minéralogique, nous avons noté l'augmentation du quartz tardif, du feldspath potassique, la transformation du pyroxène et de l'amphibole en biotite. Ce tableau fait apparaître pour cet exemple les migrations lors de la migmatisation, et il faut en retenir en particulier la diffusion importante des ions alcalins et ferro-magnésiens mise en évidence par P. LAPADU-HARGUES, mais aussi des ions Si, Al et Ca.

Les calculs de BARTH d'une manière identique aux paramètres de NIGGLI, semblent affecter au granite une position moyenne entre le gneiss et la migmatite. Il est assez remarquable de noter que le passage du gneiss au granite

se fait par diffusion d'ions à peu près identique, tout au moins en valeur qualitative, à celle qui transforme le gneiss en migmatite.

On peut émettre l'hypothèse d'un passage continu du gneiss au granite avec, pour stade intermédiaire, la migmatite granitoïde. Le premier stade serait une migmatisation normale, avec apport de sodium (gneiss plagioclasiq), potassium, silicium et aluminium ; un départ de ferro-magnésiens et de calcium. La deuxième transformation, une remobilisation ou peut-être une granitisation, avec apport supplémentaire de potassium (microcline aux dépens des plagioclases et des perthites) amenant un départ de sodium et de silicium, avec reprise partielle des ions calcium et du fer.

Nous avons essayé de rechercher dans la littérature des exemples analogues au granite ambatomiranty. Le "granite de Cornil", défini par M. ROQUES dans "Etude des Schistes Cristallins de la partie Sud-Ouest du Massif Central Français", semble se rapprocher le plus de l'ambatomiranty. Pour cet auteur, il s'agit d'un granite en petits filons, ou chonolites, dans les embréchites de la série métamorphique de la vallée de la Corrèze. Il est de couleur grise, à grain fin et texture très homogène. Sa composition minéralogique est la suivante :

Quartz	Biotite brune
Andésine An 33	Sphène
Myrmékite	Apatite
Orthose	

La structure est grenue, avec de grands cristaux de plagioclase zonés dans une pâte grenue plus fine, rappelant un microgranite. Cette pâte est faite de biotite, sphène en cristaux losangiques assez grands, de plagioclases avec gouttes de quartz.

La composition chimique nous donne les paramètres : I.4.2.4. ce qui, dans les paramètres de LACROIX, aboutit à un granite akéritique. M. ROQUES fait de ce granite filonien, tardi-migmatitique, postérieur à la migmatisation (présence d'enclaves anguleuses). Il existe des points communs entre ces deux granites : le gisement, le faciès, les éléments minéralogiques. Dans les environs de Tananarive, les contacts entre l'ambatomiranty et les migmatites sont parfois identiques à ceux que l'on peut voir dans la grande carrière de Cornil. Le "petit granite", défini par L. LAPLAINE dans les carrières de Tananarive, a une position identique au granite de Cornil, et nous avons vu ses analogies avec l'ambatomiranty des grands alignements de la route du Sud. La composition minéralogique présente quelques variantes : le quartz est moins abondant dans l'ambatomiranty ; le microcline, contrairement au granite de Cornil, domine sur les plagioclases qui présentent une extinction roulante, mais ne sont pas zonés.

Les compositions chimiques diffèrent quelque peu. Le granite ambatomiranty est plus riche en potasse et en fer.

Granite de Cornil
I.4.2.4.

Granite ambatomiranty
II.4.2'.3 ou 2(3).

Le rapport orthose/plagioclase est de 0,8 pour le granite de Cornil, de 1 en moyenne pour le granite ambatomiranty. Les compositions virtuelles font apparaître une quantité moindre de quartz et de plagioclases dans l'ambatomiranty, une plus grande abondance d'orthose et de ferro-magnésiens.

Les analogies entre ces deux types de roches résident surtout dans leur localisation. Ce sont là deux granites recoupant des migmatites et possédant des traits communs avec leurs roches encaissantes. A titre de comparaison, j'ai appliqué les calculs de BARTH aux embréchites et au granite de Cornil.

Roches	Migmatite (embréchite)	Granite de Cornil	Embréchite à granite	
Analyse	N°41	N°43	venue de	départ de
K	2,8	2,8	-	-
Na	7,5	8,2	0,7	
Ca	1,1	2,9	1,8	
Mg	0,6	1,3	0,7	
Fe ⁺⁺⁺	0,4	0,4	-	
Fe ⁺⁺	0,9	0,8	-	
Al	12,3	15,8	3,5	
Ti	0,2	0,35	0,15	
Si	66	62,5	-	3,5

TABLEAU N°5. ANALYSE CHIMIQUE DE L'EMBRÉCHITE ET DU GRANITE DE CORNIL D'APRES LES CALCULS DE BARTH.

La transformation de l'embréchite en granite de Cornil se fait par venue d'aluminium principalement, de calcium, sodium et magnésium ; elle est compensée par un départ de silicium. Ces échanges ressemblent à ceux constatés lors du passage de la migmatite granitoïde à l'ambatomiranty, mais ici, l'apport n'est pas potassique, mais alumineux et calco-magnésien. Nous avons vu que la composition minéralogique faisait apparaître une prédominance du plagioclase sur le microcline.

Le mode de gisement est la différence essentielle entre ces deux granites. Alors que celui de Cornil se présente toujours en chonolithes, certes nombreux mais de dimensions réduites, l'ensemble des ambatomiranty constitue au premier abord un véritable champ filonien d'une grande extension. Or il ne s'agit pas, comme on pourrait s'y attendre, de micro-granite recoupant, mais d'une roche vraisemblablement formée par métasomatose, à peu près indépendante quant à sa composition chimique, des terrains encaissants.

L'hypothèse précédente d'une transformation du gneiss ou de la migmatite en granite n'est pas à rejeter catégoriquement, mais elle ne nous convient pas entièrement. Elle doit expliquer les alignements granitiques parallèles à la schistosité des roches encaissantes, toujours de dimensions réduites. Il ne s'agirait alors que d'un facies rétrograde, "écroui" de la migmatite granitoïde. Cette solution se heurte à des objections assez sérieuses lorsque l'on envisage l'ensemble des ambatomiranty.

Elle ne tient pas assez compte du gisement filonien et de la localisation dans un secteur bien défini et assez restreint.

Les paramètres de NIGGLI et les calculs de BARTH affectent aux granites une position intermédiaire entre les gneiss à pyroxène et les migmatites. C'est ainsi que dans la représentation graphique des paramètres de NIGGLI (fig.n°5), la position du granite devrait être au-delà des migmatites pour un métamorphisme croissant.

Si on envisage un passage continu, gneiss, migmatite, granite, le dernier terme représente un facies rétrograde par rapport à la migmatite. Ceci est assez peu compréhensible si on assimile cette série de transformation au métamorphisme régional.

Les observations de terrain et l'étude pétrographique nous ont montré la présence de facies basiques au sein des ambatomiranty.

Nous avons même envisagé l'origine du granite à partir d'un matériel du type gabbroïque, transformé au cours du métamorphisme régional. Une analyse chimique a été faite au Laboratoire de Clermont-Ferrand pour l'échantillon F.1409 qui se présente sur le terrain comme un facies mélanocrate de l'ambatomiranty, contenant d'assez gros cristaux de feldspath. Elle donne les résultats suivants :

SiO ₂ = 56,45	Composition virtuelle
Al ₂ O ₃ = 16,80	
Fe ₂ O ₃ = 5,45	Quartz = 9,60 %
FeO = 4,15	Orthose = 19,46
MgO = 3,00	Albite = 31,44
CaO = 4,65	Anorthite = 18,07
Na ₂ O = 3,70	Corindon = 0,51
K ₂ O = 3,30	SiO ₃ Mg = 7,5
TiO ₂ = 1,50	SiO ₃ Fe = 0,66
P ₂ O ₅ = 0,90	Magnétite = 7,89
MnO = 0,01	Ilménite = 2,89
H ₂ O+ = 0,45	Apatite = 2,02
H ₂ O- = 0,05	
Total = 100,45	

Les paramètres de LACROIX sont : II.(4)5.3.(3)4, correspondant à une microdiorite micacée quartzifère. Le paramètre S et le rapport calculé orthose/plagioclase égal à 0,39 rendent compte de la teneur un peu anormale en potasse de cette diorite. Ceci s'explique par les phénoblastes d'orthose contenus dans la roche. D'autre part, la structure granoblastique à porphyroblastique permet de la considérer comme une orthoamphibolite feldspathique.

On conçoit ainsi plus facilement qu'au cours du métamorphisme régional cette amphibolite se transforme progressivement avec apport de silice et d'alcalins, perte de chaux, magnésie et fer, en un granite métasomatique de type ambatomiranty, ayant une composition chimique voisine de celle d'un granite akéritique. Les transformations métasomatiques déjà envisagées entre les gneiss à pyroxène et les migmatites granitoïdes s'appliquent ici pour les différents facies de l'ambatomiranty, depuis la diorite jusqu'au granite. Cette évolution paraît identique et parallèle à celle des schistes cristallins de la région, mais elles ne dérivent pas l'une de l'autre.

On peut donc énoncer avec plus de certitudes l'hypothèse que nous adoptons : d'anciens filons de diorites ou de gabbros, recoupant les formations préexistantes, ont été reprises au cours du métamorphisme régional qui a affecté la série de Tananarive. Ils ont été métamorphisés par un processus à peu près identique à celui qui a transformé les schistes cristallins en migmatites. Ils ont subsisté dans des facies privilégiés d'intensité métamorphique moyenne, présentant des analogies chimiques avec ces anciennes roches basiques.

Le tableau ci-dessous montre les différences chimiques existant entre :

- + une diorite normale de la région de Tananarive (An 61 relevée dans LACROIX),
- + un facies mélanocrate de l'ambatomiranty correspondant, nous l'avons déjà vu, à une orthoamphibolite feldspathique (F.1409).
- + un granite ambatomiranty typique (F.1390).

Pour cela, nous comparons les pourcentages moléculaires, les paramètres de LACROIX et de NIGGLI.

% moléculaire	Diorite à sugite et biotite An.61 LACROIX	Amphibolite feldspathique F.1409	Ambatomiranty F.1390
SiO ₂	54,7	63,7	70,2
Al ₂ O ₃	8,9	11,3	10,8
Fe ₂ O ₃	2,0	2,3	1,7
FeO	5,7	3,8	3,8
MgO	11,0	5,1	1,5
CaO	11,6	5,6	4,0
Na ₂ O	3,5	4,1	2,4
K ₂ O	0,9	2,3	4,1
TiO ₂	1,2	1,3	1,4
Paramètres LACROIX	'III.5.3.4	II.(4)5.'3.(3)4	'II.4.2'.2(3)
Paramètres de NIGGLI			
si	118,8	173	227,6
al	19,4	30,3	35,0
fm	45,4	36	28,7
c	25,3	15,4	13,0
alk	9,8	17,5	20,9
k	0,21	0,37	0,63
mg	0,52	0,37	0,17
ti	2,5	3,5	3,3

CONCLUSION. - En conclusion à l'étude des ambatomiranty, on peut concevoir le processus suivant pour leur formation :

- 1° Une fracturation du socle formé de gneiss à pyroxène et de migmatites granitoïdes.
- 2° Une mise en place localement de diorites en filons rectilignes.

3° Une granitisation le long des cassures des gneiss et des migmatites granitoïdes des épontes par endroits, des diorites de remplissage par ailleurs.

Ce phénomène paraît avoir suivi de peu la formation des migmatites granitoïdes.

Ces granites constituent donc un type particulier, en filons rectilignes, de granites tardi-migmatitiques, avec lesquels ils présentent d'ailleurs beaucoup d'analogies.

Chapitre II

LE MASSIF DE BEHENJY

SITUATION. - C'est un tout petit massif de granite qui se situe à 35 kilomètres au Sud de Tananarive, à l'Ouest de la route d'Antsirabe. Il s'étend sur 3 kilomètres, du Nord au Sud, depuis le village d'Androvakely au Nord, jusqu'au village d'Ambehimasina au Sud, et sur un kilomètre et demi entre la rivière Andromba à l'Est et un de ses affluents, le Tafaina, à l'Ouest.

I. CONSTITUTION GEOLOGIQUE

LES ROCHES ENCAISSANTES. - Elles font partie du système du Graphite et sont représentées par des quartzites, des gneiss et des migmatites. Au pied du flanc Est affleurent les migmatites schisteuses, riches en ferro-magnésiens, qui prennent un aspect plus granitique au contact du massif ; à l'Ouest, ce sont des formations de gneiss à graphite et de quartzite aurifère.

LE GRANITE. - Morphologie. - Le mont Iharanandriana ou "casque de Behenjy" domine toute la région. Vu de la route d'Antsirabe, il se présente comme une muraille de 3 kilomètres, sensiblement orientée Nord-Sud, au-dessus des formations cristallophylliennes de bordure. Alors que la crête surplombe la route de 150 mètres à l'Est et au Nord-Est, elle descend en pente beaucoup plus douce vers l'Ouest et le Sud-Ouest. La masse du granite comporte une série de joints parallèles, dirigés perpendiculairement à la foliation.

Différents faciès. - L'ensemble de la chaîne et surtout le centre sont formés par un granite leucocrate orienté et à gros éléments. On y voit un feldspath rose, du quartz granulitique ou en cristaux allongés et des traînées de magnétite. Ce type correspond au sommet même du Behenjy.

Près des roches encaissantes, au village d'Amboasary, et le long de la route Sud, le granite, beaucoup plus folié, se charge de biotite et d'amphibole.

Enfin, un faciès restreint apparaît en bancs à l'intérieur des deux types précédents. C'est un granite hololeucocrate à grain fin, très riche en quartz, qui forme quelquefois des filons recoupants dans les migmatites encaissantes.

Etude des enclaves. - En plusieurs endroits du massif, notamment sur le flanc Est de la falaise, j'ai rencontré des enclaves anguleuses de gneiss à biotite. Elles se trouvent généralement dans le faciès à grain fin. A l'extrémité Sud du Behenjy, à mi-pente, le granite renferme deux ou trois boules d'Ambatomiranty.

Relations avec les roches encaissantes. - La direction générale du granite est à peu près parallèle à celle des migmatites. Ces roches épousent approximativement les formes du massif, mais leurs pendages plongent vers l'intérieur de celui-ci. A l'Ouest, les gneiss et les quartzites buttent généralement sur le granite qui semble occuper une position synclinale dans l'ensemble de la région. Le pied de la falaise est formé d'un amas d'éboulis et il n'est guère possible de voir le contact avec précision. Rappelons enfin que les grands Ambatomiranty de la vallée de la Sisaony s'arrêtent à 1.500 mètres au Nord.

Ce petit massif a un gisement batholitique ; sa structure orientée est due, vraisemblablement, à une phase postérieure du métamorphisme.

II. ETUDE PETROGRAPHIQUE

LES MIGMATITES DU FLANC EST. - Les migmatites prélevées à la cascade du kilomètre 35 et en aval du pont montrent au microscope une prédominance du microcline et de l'orthose perthitique sur les autres minéraux. Les plagioclases, souvent en lambeaux dans le feldspath alcalin, sont corrodés et envahis par la myrmékite. L'augite et la hornblende verte sont associées, formant de grandes plages déchiquetées et poecilitiques. Le quartz en gouttelettes, ou en gros cristaux allongés, se superpose aux autres minéraux. La structure est granoblastique et enchevêtrée.

Ces migmatites forment une bande de quelques centaines de mètres le long du granite. Elles sont différentes des migmatites schisteuses classiques et sont vraisemblablement liées au granite lui-même.

LE GRANITE. - Le type leucocrate du sommet du Behenjy est presque entièrement formé de microcline et d'orthose perthitique. Les plagioclases (oligoclase) ne sont plus que des résidus où abonde la myrmékite. La structure est engrenée, à tendance cataclastique.

Les lames minces effectuées dans les échantillons de bordure sont aussi riches en feldspath alcalin et se chargent en plus d'amphibole verte, de biotite, de sphène et d'apatite.

Le faciès à grain fin est identique au premier type, si ce n'est la grosseur de ses éléments ; de plus, le microcline est prédominant sur l'orthose ; la myrmékite est abondante.

Nous avons signalé, au cours de l'étude des Ambatomiranty, la présence d'un granite rose, très orienté, sur la colline de l'Ankatso à Tananarive. Sa composition minéralogique a de grandes ressemblances avec celle du granite de Behenjy : l'orthose et le quartz sont prédominants, les plagioclases rares, absents dans certaines lames, la cataclase est plus prononcée donnant une structure à résidus de cloison. Les minéraux quartz et orthose sont cassés et leurs fissures sont remplies de quartz en petits éléments.

Enfin, le granite migmatitique de Tananarive est minéralogiquement très voisin. Cependant, la foliation n'est jamais aussi accentuée, ni la cataclase aussi forte.

III. ETUDE CHIMIQUE

Deux analyses ont été effectuées au Laboratoire de Clermont-Ferrand.

F.1394 : granite leucocrate de Behenjy

F.1388 : granite rose de l'Ankatso.

Les paramètres C.I.P.W. sont :

I.3'.1.3 pour F.1394

I.(3)4.1.3 pour F.1388

Ces deux granites ont des compositions chimiques identiques ; leurs paramètres les situent, dans la nomenclature de LACROIX, très près des granites alcalins. Leur caractéristique fondamentale est leur richesse en silice et en alcalins, leur pauvreté en chaux. Notons qu'ils sont chimiquement différents des migmatites de la Série du Graphite. Ces roches étaient, en effet, équivalentes à des granites moyens calco-alcalins. Ils ont cependant beaucoup d'analogies avec le granite migmatitique de Tananarive.

	Analyse chimique		Composition virtuelle		
	F.1394	F.1388		F.1394	F.1388
SiO ₂	77	76,3	Q	38,1	34,7
Al ₂ O ₃	10,95	12,55	O r	26,7	33,9
Fe ₂ O ₃	1,4	1,05	A b	29,9	26,2
FeO	0,40	0,30	An	0,56	1,95
MgO	0,40	0,30	Cor	--	0,50
CaO	0,45	0,40	SiO ₃ Ca	0,70	--
Na ₂ O	3,55	3,10	SiO ₃ Mg	1,0	0,70
K ₂ O	4,50	5,75	Ma	0,7	0,46
TiO ₂	0,20	0,15	Ilm	0,46	0,30
MnO	tr	tr	Hem	0,96	0,64
H ₂ O+	0,35	0,40			
H ₂ O-	0,10	0,20			
Total	99,30	100,50			

Paramètres de NIGGLI

	F.1394	F.1388
si	505,1	481,4
al	42	46,5
fm	13,4	8,7
c	3,1	2,6
alk	41,4	42
k	0,45	0,54
mg	0,29	0,30

CONCLUSIONS

Le massif de Behenjoy représente un petit massif bien individualisé dans l'ensemble de la région. Il paraît plus récent que tous les granites des environs de Tananarive : granite migmatitique, granites ambatomiranty. Il n'appartient cependant pas au type "post tectonique" qui paraît très rare à Madagascar, car sa structure est cataclastique et on trouve sur ses bordures des migmatites associées.

Chapitre III

LE MASSIF DES VAVAVATO

INTRODUCTION. - Le massif des Vavavato⁽¹⁾ se situe à 120 kilomètres au Sud-Ouest de Tananarive, au Nord du chef-lieu de district de Betafo. Il s'étend sur 25 kilomètres du Nord au Sud et sur 15 kilomètres d'Est en Ouest.

Le nom de Vavavato s'applique surtout à la partie centrale et à la zone Nord, les plus élevées qui correspondent à peu près au granite. Le sommet du Tsiafajavona (Vavavato) y culmine à 2.300 mètres, surplombant par une falaise de plus de 300 mètres le versant Sud-Ouest, descendant en pente beaucoup plus douce vers le Nord-Est. Au Sud et au Sud-Est, une série de chaînes granitiques souvent élevées, comme les crêtes de Mahasoà et du Tangiro Sud, se rattachent au massif proprement dit par une région effondrée, elle-même granitique. Les terrains migmatitiques en bordure du granite constituent une unité géomorphologique, et j'envisage, dans cette étude, le massif des Vavavato comme l'ensemble granitique et migmatites. De plus, dans cette bordure migmatitique on observe des roches basiques intimement liées aux migmatites et qui sont, de ce fait, partie intégrante du massif.

L'ensemble se place dans le système de Graphite représenté ici par des migmatites essentiellement schisteuses ou des gneiss à biotite du groupe d'Ambatolampy. A l'Est, les séries cristallophylliennes sont cachées par le volcanisme récent de l'Ankaratra.

I. CONSTITUTION GEOLOGIQUE

Nous rappellerons sommairement la constitution du Système du Graphite qui forme les bordures du massif des Vavavato.

A l'intérieur du massif lui-même nous distinguons :

(1) Vavavato : traduction littérale : bouche en pierres.

- 1^o Le granite des Vavavato.
- 2^o Les migmatites des Vavavato.
- 3^o Les roches basiques des Vavavato.

Ajoutons que l'on y rencontre des pegmatites tardives qui ne paraissent pas être en liaison intime avec le granite.

SYSTEME DU GRAPHITE ENCAISSANT..- Cet ensemble qui occupe une position stratigraphique moyenne, entre le Système Androyen à la base et le complexe amphibolique supérieur du Vohibory, possède une grande extension dans le socle cristallin. Il est dérivé de sédiments silico-alumineux et carbonés et a subi une migmatisation intense. Sa principale caractéristique est la présence, quasi constante, de couches de graphite, sauf toutefois au sommet. Il est essentiellement formé de migmatites puissantes et d'importantes zones de granitisation, très développées au centre de l'île (région de Tananarive) et le long de la Côte Est (granite et migmatites granitoïdes de Brickaville).

Dans la région étudiée, le Système du Graphite est représenté, à l'Ouest par des migmatites essentiellement schisteuses, à biotite et amphibole, parfois liées à des malgachites, et identiques à celles qui forment la pénéplaine de Mandoto. Si leur direction est assez régulière et à dominance subméridienne aux abords des Vavavato et au Nord du massif, elle devient Est-Ouest au Sud et au Sud-Ouest. Au Nord-Est et au Sud-Est, affleurent des gneiss à biotite et amphibole, rattachés au groupe d'Ambatolampy, facies local du Système du Graphite, représentant un ensemble non migmatitique de gneiss et surtout de micaschistes. Son extension est des plus réduites dans les Vavavato.

1. LE GRANITE DES VAVAVATO..- Extension et morphologie..- Ce gros noyau granitique est loin d'avoir l'unité structurale massive qui semble se dégager au premier abord.

La zone Nord, celle des hauts reliefs désertiques, dépassant généralement 2.000 mètres d'altitude, est un ensemble de gros blocs chaotiques, de pans rocheux et de murailles successives. Elle s'étend sur 7 à 8 kilomètres du Nord au Sud et sur 10 kilomètres d'Ouest en Est, groupant les sommets les plus élevés : Tangiro-Nord, Avoaika, Tsiafajavona, Vohitany.

Elle est interrompue brusquement au Sud et à l'Ouest par la falaise. En contre-bas, un vaste plateau granitique s'allongeant Nord-Nord-Ouest sur 5 kilomètres est géologiquement identique aux sommets de la zone Nord. Dans cette dépression, mieux abritée des vents, se sont groupés les villages : Gidonina, Antanetibe, Anosikely. A l'Ouest, au Sud et au Sud-Est, il n'y a plus de massif mais

de grandes chaînes granitiques, dont les crêtes dentelées rappellent la région Nord. Ce sont celles de Mahasao, Bodona et Tangiro-Sud. Elles s'étendent sur plus de 15 kilomètres en direction du Nord-Nord-Ouest et du Nord-Nord-Est formant un immense V ouvert sur le centre granitique.

L'ensemble a une direction générale Nord 20° Ouest qui est à peu près parallèle à celle des terrains encaissants. Les photographies aériennes font apparaître une série de fractures de direction préférentielle Nord-Sud, recoupées par un autre faisceau Nord-Nord-Ouest.

Différents types pétrographiques. - L'étude de terrain n'indique pas au premier abord de variations sensibles de faciès à l'intérieur du massif. Le centre, les hauts plateaux et les sommets les plus élevés sont formés par un granite leucocrate homogène. La roche de couleur gris clair, à grain moyen, présente une légère orientation à l'affleurement et se charge localement de gros phénocristaux de feldspath. Le type de ce granite peut être pris au sommet de l'Avoai-ka et caractérise le centre même du massif.

Les éléments colorés, absents du faciès précédent, apparaissent sur les bordures du granite ; sur le flanc Ouest, dominant la vallée de la Gidonina, on rencontre sur quelques mètres des zones à amphibole, épidote et magnétite. Sur la piste d'Ambero et Ambatobohangy au Nord-Est et sur les crêtes du Sud-Ouest, le granite est plus orienté et son grain plus grossier. Le type, vraisemblablement plus potassique qu'au centre du massif, est pris au village d'Ambatobohangy, non loin des migmatites. On ne peut cependant individualiser un faciès de bordure du granite à structure porphyroclastique, comme cela a été fait précédemment (carte au 1/200.000 Ambatolampy). Les phénocristaux de feldspath existent au centre même du massif, dans la montagne du Tsiarafavona. Enfin, je n'ai jamais observé de faciès malgachitique ni d'enclaves d'aucune sorte à l'intérieur du granite.

Il faut signaler la présence de basaltes de l'Ankaratra à l'intérieur du massif, soit sous la forme de lambeaux de coulées, aboutissant à des buttes témoins (Ouest d'Ambero), soit sous forme de cheminées volcaniques avec brèches renfermant des morceaux de granite (aux abords de la montagne Vohitany).

Relations avec les migmatites. - Il est très difficile d'étudier les contacts souvent latérisés, avec précision. Sur la piste de Lazarivo à Antanetibe, on ne peut le délimiter que grossièrement, quand on quitte les formations latérisées représentant les migmatites, pour arriver dans le granite beaucoup moins transformé.

Au Nord-Ouest de Vinaninony, aux abords des villages de Mahatsinjo et d'Ambatofotsy, on passe insensiblement du granite à gros grain aux formations migmatitiques à phénocristaux de feldspath. De plus, les pendages sont ici très

redressés, celui du granite étant sensiblement vertical. Son orientation actuelle, identique généralement à celle des migmatites, serait due à la reprise du matériel granitique lors d'une phase métamorphique postérieure à sa mise en place.

Lorsqu'on aborde les Vavavato, soit par Paratsiho au Nord, soit par Betafo au Sud, on est frappé par l'apparence de falaises aux crêtes dentelées qui délimite le noyau granitique et l'individualise. Mais une étude de détail montre que, dans de nombreux cas, on passe sans discontinuité, du granite aux migmatites de bordure, et que les murailles ne séparent que des compartiments granitiques surélevés ou effondrés.

En conclusion, malgré l'apparence topographique, il y a un passage progressif. Postérieurement à la mise en place, le granite a subi des actions dynamiques intenses et il s'en est suivi une tectonique cassante, responsable des grandes falaises et des reliefs escarpés actuels.

2. LES MIGMATITES DES VAVAVATO. - Elles apparaissent tout autour du massif avec une prédominance dans l'Ouest. A l'Est et au Nord, aux environs de Vinaninony et de Miandrarivo, elles forment des bandes allongées tout autour du granite, mais de largeur réduite car elles sont recouvertes en grande partie par les basaltes de l'Ankaratra. A l'Ouest, elles ont plutôt l'aspect de massif au milieu de la série cristallophyllienne du Graphite. Elles affleurent sur plusieurs kilomètres dans la région d'Ambohimasina, d'Antoby et de Sahamandrovo. A l'extrême Sud du massif, elles se localisent à l'Est de Betafo et de Mahaiza.

L'aspect morphologique est tout à fait différent de celui du granite. Ce sont ici des collines arrondies, sans relief dominant, uniformisées par la latérisation des roches. Seuls quelques facies basiques généralement altérés en boules, apparaissent de loin en loin.

Sur le terrain, les migmatites des Vavavato se caractérisent par leur forte teneur en ferro-magnésiens et par le fait qu'elles se chargent souvent de phéno-cristaux de feldspath. On y distingue à l'oeil, outre les gros feldspaths, de la biotite, du pyroxène et parfois du sphène. Elles se différencient du granite par leur composition minéralogique et leur texture beaucoup plus orientée. Elles forment ici un facies particulier, lié au granite que l'on ne peut assimiler entièrement, ni aux migmatites granitoïdes de type "Tananarive" à cause de leur texture, ni aux migmatites schisteuses du Système du Graphite, par la présence de phéno-cristaux de feldspath. Elles paraissent interstratifiées au milieu des migmatites du type banal, et elles ont ici l'aspect de migmatites liées étroitement à la présence du granite.

On peut différencier deux types dans les migmatites des Vavavato.

- un type moyen, riche en ferro-magnésiens, à texture litée, où apparais-

sent déjà des phéno-cristaux de feldspath. C'est le plus répandu à l'Ouest et il se situe toujours assez loin du granite.

- un type à phéno-cristaux pouvant atteindre 5 centimètres, caractéristique de la région de Vinaninony-Ambatofotsikely, pratiquement au contact du granite.

3. LES ROCHES BASIQUES DES VAVAVATO.- Les enclaves basiques sont particulièrement abondantes dans la zone bordière du granite, interstratifiées dans les migmatites en bancs ou en massifs de dimensions réduites. Elles se répartissent autour du coeur granitique mais ne se situent jamais dans le granite lui-même. On trouve les principaux affleurements près d'Ampangabe, d'Antoby et au Sud d'Ambohimasina.

Différents types pétrographiques.- L'ensemble des roches basiques peut être divisé en deux grandes catégories. Les gabbros, diorites ou norites à l'aspect éruptif qui ne semblent pas sur le terrain avoir subi de transformation. Les roches à texture orientée, assimilables à des amphibolites ou à des pyroxénites.

Au Nord d'Antoby affleure un gabbro malgachitique à gros grain, il constitue le type de roche éruptive non transformée.

Au Sud d'Ambohimasina, un petit massif de gabbro présente sur ses bords des filons qui pénètrent dans les migmatites. Le bed-rock du pont de l'Ikambe-na permet d'observer le contact gabbro-migmatite ; on voit le gabbro se charger de cristaux de feldspath allongés et très minces.

A trois kilomètres au Sud-Est de Miandrarivo, un massif de gabbro de deux kilomètres de puissance, au milieu des migmatites, passe, sur les bordures, à une amphibolite micacée.

Il faut signaler enfin les facies spéciaux de la région de Betafo, où les migmatites à amphibole, sphène, feldspath potassique rose se sont révélées être de véritables disogénites, formées par "absorption" d'anciennes roches basiques à pyroxène ou amphibole.

L'étude de terrain nous montre déjà que les gabbros sont antérieurs aux migmatites du type Vavavato liées aux granites, puisqu'ils ont été métamorphisés en de nombreux endroits par ces roches.

LES PEGMATITES.- Le pourtour des Vavavato constitue un champ pegmatitique important, relativement riche en minerais uranifères et en béryl. Le Commissa-

riat à l'Energie Atomique en avait entrepris l'étude, s'occupant surtout des gisements d'Ampangabe, Sahamandrovo, Ambohimasina. Notre but n'est pas ici de les étudier, mais de les replacer dans leur cadre géologique.

Le granite ne contient pas de pegmatites au sens minier du terme. Celles que l'on y rencontre sont très réduites, de l'ordre de 3 à 4 mètres, à coeur de quartz et magnétite. Bien qu'elles soient très dispersées dans le granite, elles deviennent plus nombreuses en bordure des migmatites.

En s'éloignant du granite et à l'intérieur des migmatites, les pegmatites à coeur de quartz contiennent feldspath et muscovite, avec quelques rares échantillons de bétafite. C'est le cas des pegmatites de la piste de Lazarivo, toujours de dimensions réduites.

Au sein même des migmatites de bordure, apparaissent des pegmatites uranifères : Lazarivo-Ambohibary à l'Ouest, Mahatsinjo-Beraiketa à l'Est.

A Ambohibary, la pegmatite est Nord-Sud, recoupant les migmatites. Ses dimensions sont importantes : 100 mètres de long et 40 mètres de large ; à côté du gros coeur de quartz blanc, la zone à quartz graphique et feldspath contient l'essentiel de la minéralisation, muscovite, bétafite, fergusonite, ampingabéite, malacon, ilméno-rutile, béryl.

Enfin les grosses pegmatites à béryl et colombite sont les plus éloignées du granite, Ampangabe, Ambatofotsy, Sahamandrovo.

Il s'agit là de pegmatites zonées, classiques à Madagascar, que l'on retrouve dans toutes les séries stratigraphiques de l'île. Elles sont superposées ici à l'ensemble des Vavavato, mais n'ont certainement aucune liaison particulière avec le granite. Nous laisserons donc leur étude de côté.

II - COUPE GENERALE DANS LE MASSIF DES VAVAVATO

La coupe est orientée Ouest-Est, depuis le Nord-Ouest d'Ambohimasina jusqu'aux abords du village d'Ambero à l'Est ; elle est effectuée approximativement suivant $X = 720$.

A l'Ouest, les migmatites schisteuses de la série du graphite affleurent avec une direction Nord 30° Ouest et un pendage de 20° Ouest.

Entre les villages de Lazarivo et Antoby apparaissent les premières migmatites des Vavavato définies précédemment, à biotite et à amphibole, déjà riches en phéno-cristaux de feldspath. Elles forment ici un massif qui s'étend sur plu-

sieurs kilomètres au Nord ; leur direction générale est Nord 60° Ouest, leur pendage de 60° Sud. Dans la région de Sahamandrevo, elles sont associées à des facies malgachitiques.

En se dirigeant vers l'Est, sur la piste d'Ambatofotsy, on recoupe les migmatites des Vavavato parfois associées aux migmatites schisteuses du socle. Les enclaves basiques sont abondantes dans toute cette région et il faut signaler un gabbro à gros grain au Sud du village d'Andranomanjaka, une norite à 1 kilomètre au Nord-Ouest d'Ambatomainy.

A l'Est du village, on note une petite intercalation de gneiss à pyroxène de direction Nord 10° Ouest, à pendage Sud redressé. En avançant toujours vers l'Est, on passe progressivement des migmatites très orientées et à phénocristaux, au granite des Vavavato. La montagne d'Ambatoloina, orientée Nord-Sud, est constituée par un granite identique à celui des Vavavato.

La coupe se poursuit sur le replat granitique d'Anosy, traversé par la rivière Ingalana, la direction générale est ici Nord 40° Ouest, avec un pendage 45° Sud. Des pointements volcaniques existent à l'intérieur même du granite.

À une heure de marche vers le Nord-Est, nous tombons sur la grande falaise du cœur granitique ; son orientation générale est à peu près celle du granite : Nord 25° Ouest. Il ne semble pas y avoir de différences fondamentales dans le granite si ce n'est un grain plus fin et une texture moins orientée à l'intérieur du massif.

Après une dépression au centre même du massif, le versant Nord-Est descend en pente beaucoup plus douce vers l'Ambero. A un kilomètre de ce village, les derniers reliefs granitiques présentent une cristallisation plus grossière ; la direction générale est ici Nord 20° Ouest, le pendage à peu près vertical. Nous ne retrouvons pas ici les migmatites des Vavavato qui sont recouvertes par les épanchements volcaniques de l'Ankaratra.

III - ETUDE PETROGRAPHIQUE

Nous avons noté les différences morphologiques et structurales existant entre le massif lui-même et les facies péribatholitiques. En nous basant sur des critères de texture, nous distinguons pour les roches granitiques deux groupes pétrographiques :

- Le granite proprement dit.
- Les facies de migmatisation à structure orientée que l'on peut assimiler à des migmatites.

Dans le second cas, la dimension des cristaux, la texture et les facies

quartzo-feldspathiques dominants, permettent de distinguer ces roches des gneiss de la région. Le granite orienté ou non, les facies migmatitiques de bordure sont groupés ici dans un même ensemble pétrographique.

Les caractéristiques communes aux deux groupes sont les suivantes :

- La présence du microcline ou d'une perthite souvent prédominante sur les plagioclases acides (albite ou oligoclase). Ceux-ci sont, dans la plupart des cas, en voie de remplacement par le feldspath potassique : bourgeons de microcline s'insinuant entre les interstices des autres minéraux, golfes de microcline dans les plagioclases.

- Le quartz est toujours à extinction reulante ; indépendant des structures cristalloblastiques, il se superpose aux autres cristaux, les englobant poecilitiquement dans certains cas.

- Enfin, même pour les granites dépourvus de foliation à l'affleurement, la structure a toujours un aspect granoblastique ou "engrené" pour les assemblages plagioclase-microcline. Les minéraux sont corrodés, même le microcline.

Après avoir montré les relations existant entre le granite et les migmatites, nous allons maintenant décrire quelques exemples de chacun de ces groupes.

LE GRANITE DES VAVAVATO. L'étude pétrographique de nombreux échantillons pris sur des coupes Est-Ouest et Nord-Sud du massif montrent des différenciations intéressantes. Le centre du Tsiafajavona-Avoaika est formé par un granite calco-alcalin où le plagioclase prédomine généralement sur le microcline. Tous les minéraux sont limpides ; les plagioclases en particulier ne montrent aucune altération sensible, si ce n'est un début de zonage au contact du microcline. Les mesures au microscope de FEDOROFF désignent de l'albite (10 à 15 an). Le microcline est en petits bourgeons, dépourvu de caractère insinuant (F. 1441 et F. 1444). Les ferromagnésiens sous forme de petits grains d'amphibole et de magnétite sont rares. Le grain de la roche est fin, la structure grenue dans certains cas a une tendance granoblastique.

Un échantillon, provenant du sommet des Vavavato, est cité par A.LACROIX avec son analyse chimique.

SiO ₂	71,22
Al ₂ O ₃ ...	15,02
Fe ₂ O ₃ ...	1,58
FeO.....	1,02
MgO.....	0,39
CaO.....	2,38
Na ₂ O....	4,57
K ₂ O.....	2,99
TiO ₂	0,04
P ₂ O ₅	0,9
H ₂ O+ ...	0,61
H ₂ O- ...	0,15
Total :	100,16

Composition virtuelle :

Quartz	28 %
Orthose	18 %
Oligoclase.....	48 %
Hypersthène.....	1 %
Apatite	0,7%
Corindon.....	0,6%

Les paramètres calculés sont : I.4.2.4 donnant dans la classification magmatique un granite monzonitique.

Le rapport calculé orthose/plagioclase est de 0,37 en valeur minéralogique.

Le An % calculé s'établit au voisinage de An 18 , ce qui concorde à peu près avec les observations microscopiques.

Des variations importantes se manifestent lorsqu'on s'éloigne du centre du massif. D'une manière générale, bien qu'il y ait des anomalies et des récurrences, le granite s'enrichit en feldspaths alcalins, l'altération des plagioclases est plus poussée, les ferro-magnésiens et les minéraux calciques plus abondants.

- Le quartz, en proportion plus faible, présente les mêmes anomalies que précédemment. Les plages s'éteignent irrégulièrement, par panneaux.

- Le microcline est abondant, à extinction roulante ; il englobe poeciliquement des résidus de plagioclases (F. 1461), parfois même des micas, de la zoïsite, du quartz (F. 1457). Lorsqu'il s'insinue à l'intérieur des plagioclases, il donne généralement une bordure réactionnelle formée par un plagioclase plus acide (F. 1459). Par contre, la myrmékite est pratiquement absente de tous ces échantillons. Au contact du microcline et de l'orthose perthitique, on note la présence d'une bordure très claire qui semble être du quartz.

- Le plagioclase est un oligoclase sodique allant jusqu'à l'andésine (An 18 à An 28). Les cristaux sont pseudo-automorphes, mais corrodés et à extinction roulante. Généralement zonés, ils deviennent de plus en plus acides du centre vers les bords. Leurs mâcles sont tordues (F. 1371), une légère saussuritisation s'accompagne parfois de calcite.

- Les ferro-magnésiens existent dans ce facies, mais ils ne sont jamais abondants. Ils forment un agrégat de petits cristaux déchiquetés d'augite aegy-

minique (F. 1453) ou d'amphibole vert foncé (F. 1442) associés à des minéraux d'altération comme le sphène, l'épidote, l'apatite et la zoisite.

Les structures des granites de bordure sont toutes granoblastiques et très orientées, renfermant souvent des porphyroblastes poecilitiques d'orthose. Une lame mince effectuée dans l'un d'entre eux a montré un cristal de microcline poecilitique contenant des cristaux de plagioclase (oligoclase), du quartz, de la biotite et de l'amphibole. L'ancien oligoclase, en majorité dans la lame, est corrodé, mais garde encore sa structure automorphe.

Une analyse chimique effectuée par le Laboratoire de Clermont-Ferrand donne les résultats suivants pour un granite pris à l'extrémité Sud-Est du massif. Il est vraisemblable, par l'étude pétrographique, qu'il ne s'agit pas là du terme le plus alcalin de la série.

ANALYSE ÉCHANTILLON F.1375 ANTANETIKELY
20 kilomètres Nord-Est de Betafo

SiO ₂ 65,45	<u>Paramètres de NIGGLI</u>	
Al ₂ O ₃ 18,0	Si = 269,3	
Fe ₂ O ₃ 1,75	Al = 43,4	
FeO 0,90	fm = 11,3	
MgO..... 0,45	alk = 34,0	
CaO..... 2,55	k = 0,32	
Na ₂ O..... 5,80	<u>Composition virtuelle</u>	
K ₂ O..... 4,20	Q = 10,14	SiO ₃ Ca = 0,18
TiO ₂ 0,20	Or = 25,05	SiO Mg = 0,11
MnO..... 0,05	Ab = 48,73	Ma = 2,32
H ₂ O+ 0,45	An = 10,56	Ilm = 0,30
H ₂ O- 0,15		
Total.....: 99,95		

Les paramètres calculés sont : I.4(5).2.4

Le rapport calculé orthose/plagioclase est de 0,42 en valeur minéralogique. Le An % calculé s'établit autour de An 29.

L'étude pétrographique et chimique du massif granitique indique une différenciation sensible dans la composition globale. Dans l'ensemble, le granite devient plus riche en feldspaths alcalins, au détriment du quartz exprimé lorsqu'on s'éloigne de son centre.

D'une manière identique, les transformations sont beaucoup plus importantes. L'altération des plagioclases, leur corrosion, semblent s'effectuer sui-

vant leur basicité, car il paraît probable que l'ensemble a été soumis à des conditions d'altération analogues. Cette opinion est confirmée par la présence de minéraux calciques dans les facies de pourtour (sphène, apatite, épidote, hornblende). Quant aux structures, elles deviennent de plus en plus celles de roches métamorphisées lorsqu'on s'éloigne du centre. Tout se passe comme si l'ensemble avait été repris par une série de phénomènes métamorphiques ou métasomatiques, qui auraient en partie conservé les structures initiales du centre du massif, beaucoup moins accessible à leurs efforts.

LES MIGMATITES DES VAVAVATO. - Les migmatites ont été décrites précédemment comme des roches essentiellement hétérogènes, formées de lits quartzo-feldspathiques, à structure granoblastique, et de lits riches en ferro-magnésiens à structure nématoblastique ou lépidoblastique. Les migmatites de bordure des Vavavato sont caractérisées par l'association de minéraux calciques (pyroxène, amphibole, apatite, calcite et sphène) avec des feldspaths potassiques, orthose et microcline. De telles roches constituent généralement à Madagascar des formations de quelques dizaines de mètres d'épaisseur, interstratifiées au milieu des séries cristallophylliennes ; elles ont ici une ampleur beaucoup plus grande tout autour du massif.

Au microscope, elles présentent toutes l'association : feldspath alcalin, pyroxène, épidote, zoïsite ou sphène.

Le feldspath alcalin est représenté par le microcline quadrillé, toujours envahissant, ou l'orthose perthitique en phénoblastes.

Le pyroxène est un diopside vert foncé, ferrifère, plus ou moins ouralitisé. L'amphibole, sous forme de hornblende verte est assez commune et dérive toujours du pyroxène ; elle est associée à la biotite avec formation d'épidote, zoïsite et calcite. Le sphène est plus abondant que dans les granites et forme des bordures kélyphitiques autour de la magnétite.

Les structures sont de types variés : orientées, granoblastiques ou porphyroblastiques avec cloisons.

Nous allons donner maintenant quelques types pétrographiques des migmatites de bordure.

F. 1438. - Migmatite à pyroxène et biotite, Nord d'Ambohimasina, piste d'Ambohibary, correspondant au type moyen défini précédemment. Elle montre l'association :

Augite, diallage avec début d'ouralitisation, zoïsite, épidote, sphène.

Le feldspath est représenté ici par l'orthose perthitique ; le plagioc-

lase est séricitisé, à extinction roulante. Le grain est moyen, la structure orientée à nématoblastique.

F.1361. - Echantillon prélevé à Ambatofotsikely, en bordure du granite proprement dit, a une structure granoblastique à porphyroblastique. Le microcline est en bourgeons dans la pâte ou en gros cristaux subautomorphes et poecilites, renfermant surtout des restes de plagioclase. La biotite, à fort polychroïsme est associée à l'amphibole avec une bordure de sphène et d'apatite ; il n'y a plus de traces de pyroxène. On retrouve dans l'association biotite-amphibole les figures kelyphitiques déjà signalées dans les granites ambatomiranty.

F.1371. - lame mince provenant d'une migmatite de la bordure Nord (piste de Vohibazaha) montre l'association : biotite, hornblende verte, épidote, sphène et magnétite. L'amphibole, du vert clair au vert très foncé, est tordue et cassée ; elle apparaît au fort grossissement comme formée par un agrégat de petits éléments où se juxtaposent des plages de biotite et d'amphiboles cimentées par la calcite et l'épidote. Par endroits, de gros cristaux de hornblende sont entourés par des cloisons composées de biotite déchiquetée, d'ilménite enrobée de sphène et de calcite. Enfin des lamelles de biotite, orientées identiquement, sont logées dans les mâcles des plagioclases. Cet échantillon est le seul à présenter de belles myrmékites. La structure est enchevêtrée, la recristallisation très poussée donne autour des feldspaths un début de cloisons.

F.1376. - Provient du lac Anosy à l'Est de Betafo ; la structure est granoblastique à grain fin. Le microcline s'insinue entre le quartz et les plagioclases et la calcite apparaît au contact des deux feldspaths. La roche contient deux pyroxènes, l'augite et l'hypersthène (bronzite) et s'insinue irrégulièrement vers son centre. Dans cette même lame, un phénoblaste feldspathique de trois millimètres semble constitué par un microcline perthitique renfermant de nombreuses enclaves d'oligoclases, identiquement orientées et altérées en séricite, du quartz, des micas, de l'épidote.

Dans l'échantillon F.1440 qui correspond sur le terrain à une migmatite au contact d'un gabbro, le microcline englobe des plagioclases transformés en albite avec formation restreinte de muscovite.

Il faut signaler les facies spéciaux des environs de Betafo. L'un à Miarompenarivo (F.1382) sur la route Betafo-Mahaiza, à 8 kilomètres à l'Est de la dernière localité, l'autre à Mandritsara, canton à l'Est de Betafo (F.1379).

Dans les deux cas, on voit au milieu des migmatites des bancs de plusieurs mètres d'épaisseur, d'une très belle roche bicolore, rose et verte. On distingue, à l'oeil, des amas plus ou moins importants de pyroxène vert foncé,

sur un fond rose formé essentiellement de feldspath ; de plus, quelques cristaux de sphène apparaissent au milieu des septa ou des trainées de pyroxènes.

Au microscope, F.1379 présente l'association :

- Quartz de recristallisation en gouttelettes - microcline abondant.
- Plagioclase rare (oligoclase zoné).
- Pyroxène (diopside ferrique) ouralitisé et associé à un agrégat d'apatite, ilménite et sphène.
- Structure granoblastique et enchevêtrée.

La lame mince F. 1382 est un peu différente. Le quartz en gouttelettes est rare, le microcline perthitique contient de petits éléments d'albite. Lorsqu'il envahit le plagioclase, il crée des bordures réactionnelles plus acides et on assiste souvent à une formation de calcite à ce contact. Il semble, par ailleurs, que le plagioclase envoie des digitations et des arborescences dans le microcline, créant ainsi des antiperthites. Le diopside ferrique est ouralitisé assez faiblement et l'amphibole qui en résulte a une couleur pâle, légèrement bleue. Le sphène et la magnétite existent toujours en quantité notable. Le grain est grossier, la structure poecilitique.

Dans tous ces exemples, le microcline ou la perthite se sont constitués aux dépens d'un oligoclase incomplètement transformé. Cette transformation s'est faite avec un excès de chaux qui s'est exprimé sous forme d'épidote, apatite ou calcite. Il y aurait donc, d'une façon générale, substitution d'un feldspath alcalin à un feldspath calco-sodique bien que, dans ce dernier cas, il semble que le microcline "envahissant" une roche précédemment calcique se transforme partiellement en plagioclase. D'autre part, ces transformations paraissent avoir lieu dans un facies assez profond puisqu'on note la présence, instable il est vrai, d'hypersthène dans les roches.

Composition chimique des migmatites. - Nous avons groupé dans le tableau ci-après quatre analyses nouvelles des migmatites de bordure des Vavavato. Ces échantillons sont prélevés en des lieux bien différents, mais ils sont plus ou moins en rapport avec les roches basiques très abondantes dans la région. J'ai ajouté à ce tableau 2 analyses analogues de Madagascar prélevées, l'une dans la Minéralogie de Madagascar de LACROIX, l'autre dans la thèse de J.GUIGUES.

A l'exemple des associations minéralogiques, les compositions chimiques sont assez aberrantes, mais donnent comme type moyen en granite akéritique ou une syénite.

Interprétation. - L'étude pétrographique nous a montré le caractère hybride de ces migmatites apparentées d'une part aux pyroxénites et aux amphibolites par leur richesse en minéraux calciques et alumineux, d'autre part aux roches granitiques par l'abondance des minéraux alcalins. Il en est de même pour la com-

	REGION DES VAVAVATO				AUTRES REGIONS	
	F.1452	F.1382	F.1366	F.1440	LACROIX An . 140	GUIGUES G . 1306
SiO ₂	63.65	62.55	58.73	57.30	54.30	59.2
Al ₂ O ₃ ...	17.95	17.50	21.25	16.50	10.68	17.4
Fe ₂ O ₃ ...	1.70	2.75	2.31	2.40	0.67	3.6
FeO.....	2.75	1.05	2.34	5.15	3.75	2.9
MgO.....	1.55	1.05	1.90	4.00	8.88	2.8
CaO.....	3.00	2.60	3.20	5.0	15.94	5.4
Na ₂ O....	4.30	5.20	5.25	4.50	2.02	3.0
K ₂ O.....	3.90	6.30	4.60	3.70	2.70	4.0
TiO ₂	0.45	0.50	0.70	0.60	0.91	0.2
P ₂ O ₅	-	-	-	-	0.12	-
MnO.....	traces	traces	0.05	0.05	-	-
H ₂ O+....	0.60	0.50	0.34	0.50	0.19	113
H ₂ O-....	0.10	0.20	0.05	0.15	0.05	-
Total...	99.95	100.20	99.72	98.85	100.21	99.9

PARAMETRES C.I.P.W.

p	I (II)	I (II)	I (II)	II	III	I (II)
q	4'	5	5	5	5	4 (5)
r	2 (3)	1 (2)	2	2'	3	3
s	3 (4)	3	3 (4)	4	3	3
	Granite à akéritique	Syénite monzonite	Syénite sodo-po- tassique	Syénite akérite tonsbergite	Dissogé- nite	Monzo- nite

PARAMETRES DE NIGGLI

Si.....	242	236	193	170	124	192
al	40	39	41	29	14,4	33
fm	22	16	24	32	36	30
c	13	10	11	16	36	19
alk	24	34	26	18	8	7

F. 1452 - Migmatite au contact d'un filon gabbroïque. Pont Ikambena - Sud Ambohimasina.

F. 1382 - Migmatite à pyroxène et sphène, Miarompenarivo.

F. 1366 - Migmatite - Rivière Andramadinika.

F. 1440 - Migmatite au contact d'un gabbro - Pont Kikony. Nord Ambohimasina.

An.140 - LACROIX 1925. Gneiss syénitique à pyroxène et microcline. Sahandrambo. Région Mananjary.

G. 1306 - GUIGUES 1952. Monzonite du Sahapilo.

position chimique et il est difficile de classer ces facies dans des catégories ignées, acides ou basiques. Cette dualité qui s'est réalisée dans un ensemble magmatique au sens de SEDERHOLM s'explique assez bien sur le terrain où l'on rencontre un massif granitique métamorphisé et une auréole riche en pointements basiques eux-mêmes transformés.

On peut alors concevoir qu'au cours d'une phase métamorphique postérieure il se soit réalisé un facies migmatitique, véritable mélange de roche granitique et de roche basique.

Les analyses chimiques semblent indiquer que la genèse des migmatites ait mis en jeu des processus métasomatiques importants. En les comparant à celles du granite, précédemment citées, on note un apport de magnésium, calcium et fer dans des roches "contaminées" au contact des formations basiques. Inversement, ce phénomène peut s'expliquer par un apport alcalin dans les facies basiques ou calco-silicatés du métamorphisme général.

La première hypothèse : apport de calcium dans un matériel granitique quartzo-feldspathique, n'est autre que le mode de formation des dissogénites décrit par LACROIX.

Pour cet auteur, ces roches constituent des filons en liaison avec des massifs granitiques se rencontrant toujours, soit dans des sédiments calcaires métamorphisés, soit dans des calcaires cristallins ou des roches silicatées, amphibolites, pyroxénites. La présence de minéraux calcaïques, sphène, apatite, épidote, wollastonite, de même que le diopside, serait le résultat d'une action endomorphique de la paroi calcaire ou basique encaissant les filons granitiques. La teneur en quartz, variable suivant la nature du feldspath, crée la diversité de ces roches au point de vue magmatique, allant des granites, syénites, monzonites quartzifères ou non.

En se rapportant au tableau précédent, on peut noter la variété des migmatites dans la nomenclature lithologique habituelle : granite akéritique, syénite monzonitique, sodo-potassique, akéritique (tönsbergite) et monzonite. Les échantillons F.1452 et F.1440 prélevés sur le terrain, au contact des gabbros, identiques aux roches silicatées calcaires ou magnésiennes, peuvent s'expliquer ainsi par action endomorphique. Pour deux exemples, on voit au microscope le plagioclase s'insinuer à l'intérieur de l'orthose sous forme d'arborescences, donnant ainsi une antiperthite fusiforme.

Cette solution se heurte cependant à des objections assez sérieuses que nous tirons de l'étude pétrographique et des analyses chimiques. Le gisement de ces roches n'est généralement pas celui des dissogénites ; elles ont une extension beaucoup plus grande et ne sont pas toujours en contact direct avec les roches basiques.

Dans les migmatites, plus riches en alcalins que le granite du massif

proprement dit, nous avons mis en évidence :

- des phénomènes de zonage des plagioclases, une bordure réactionnelle au contact du microcline correspondant à un appauvrissement en calcium (plagioclase plus acide) accompagné de calcite ou d'épidote.

- des transformations d'oligoclase en albite au sein des phénoblastes d'orthose.

- une ouralitisation généralisée du diopside ou de l'hypersthène, s'accompagnant de la formation d'épidote, sphène et calcite. Cette réaction se poursuit, dans certains cas, par la transformation d'amphibole en biotite d'une manière identique à ce que nous avons vu dans les Ambatomiranty.

Il y a donc un appauvrissement en chaux de certains minéraux silicatés (plagioclase et pyroxène) contrebalancé par un apport alcalin (sodium ou potassium). Le calcium qui existe quand même en quantité notable paraît s'être concentré dans les minéraux dépourvus de potasse, à savoir la calcite, l'épidote, le sphène, l'apatite. S'il y avait endomorphisme des facies granitiques, les feldspaths devraient s'enrichir en calcium aux dépens du potassium ; or, ce n'est pas le cas pétrographiquement et, de plus, la teneur en chaux des migmatites n'est guère plus élevée que celle des granites. Il en est de même pour la potasse, ce qui explique les formations quasi générales de perthite et d'antiperthite dans les migmatites, contrairement au microcline et au plagioclase du granite, la présence assez rare de myrmékite et de muscovite de néoformation dans les feldspaths.

Une autre caractéristique de ces migmatites est, d'une manière générale, leur faible quantité de silice par rapport au granite, se manifestant par un appauvrissement en quartz. Il semble qu'il y ait une désilicification générale des facies migmatitiques de bordure des Vavavato. Les roches analysées, qui correspondent pratiquement à des syénites, ne sont pas des exceptions mais la presque généralité. Au Nord-Ouest de la zone étudiée, J. GUIGUES a cartographié, en 1950, de véritables massifs de syénites tout à fait analogues à celles que nous avons rencontrées (syénite et monzonite du Mont Sahapilo). D'après l'étude de D.L. REYNOLDS sur le batholite calédonien de NEWRY, "cette désilicification moléculaire progressive (relative à la quantité moléculaire des bases présentes) liée aux roches basiques de bordure correspond à un enrichissement en alcalins des anciennes séries, aboutissant à des syénites ou des monzonites". Leurs structures granoblastiques indiquent une origine métamorphique.

En résumé, l'examen microscopique et la chimie des migmatites montrent l'existence d'une métasomatose alcaline dans des séries silico-alumineuses régionales, accompagné d'une désilicification. Cette opinion est renforcée par le fait que ces roches sont généralement en feuilletés concordants dans les autres formations métamorphiques, qu'elles sont accompagnées par d'anciennes roches éruptives, acides ou basiques, elles-mêmes transformées.

CONCLUSION A L'ETUDE DU GRANITE ET DES MIGMATITES DES VAVAVATO. - Au début de ce chapitre, j'ai insisté sur les analogies de gisement et de texture qui existent entre le granite et les migmatites de bordure. Leur étude pétrographique et chimique ne fait que confirmer cette idée. Il n'y a pas de limites définies entre le granite des Vavavato pris à l'extrémité du massif et les migmatites. S'il est difficile de les différencier sur le terrain, il en est de même au microscope en prenant les faciès extrêmes. Leurs compositions chimiques relatent un fait identique : on passe insensiblement depuis le centre du massif jusqu'aux bordures occidentales d'un granite monzonitique à une syénite, par l'intermédiaire d'un granite akéritique et d'une monzonite. Cette variation se fait par un apport relatif en magnésium, calcium et fer, dans les roches granitiques "contaminées", compensé par un départ de silice. La caractéristique commune de toutes ces roches est leur structure cristalloblastique, acquise au cours d'une phase du métamorphisme général qui n'aurait atteint que faiblement le coeur du massif. On peut donc concevoir l'ensemble des Vavavato comme une ancienne zone granitique, peut être bordée par une série silico-alumineuse régionale affectée postérieurement par une phase métamorphique. Le centre de cet ensemble, moins transformé, aurait conservé en partie son ancienne structure de roche éruptive acide. Quant aux faciès syénitiques, ils semblent avoir une certaine généralité lors de la mise en place d'une formation granitique et de sa reprise par le métamorphisme. D.L. REYNOLDS a mis en évidence dans le processus de granitisation un stade précoce de désilicification.

Il serait maintenant intéressant de savoir à quel faciès de métamorphisme se rapportent les transformations décrites. L'étude minéralogique a montré la présence d'hypersthène, toujours relative d'ailleurs, accompagné d'ouralite. Les granites de bordure tendent parfois vers les granodiorites sans les atteindre complètement. Les migmatites prennent sur le terrain localement le faciès malgachitique. En se rapportant aux faciès d'ESKOLA, il semble que le faciès "granulite" soit ici un faciès instable (présence d'ouralite) et que l'ensemble des roches métamorphiques se rapportent au faciès "amphibolite", métamorphisme de mésozone.

Des exemples analogues à la formation granitique et migmatitique des Vavavato ne sont pas rares à Madagascar. Au Sud de la région étudiée, A. EMBERGER a décrit le "complexe d'Ambatofinandrahana" où sont associés des granites calco-alcalins, alcalins, des syénites et des monzonites, tous à structure granoblastique, analogues aux Vavavato. L. LAPLAINE a défini, en 1950, avec J. GUIGUES, le grand axe granitique de Brickaville dans le précambrien de la région orientale. Pour ces auteurs, il s'agit d'un immense massif, très allongé Nord-Sud (400 km) parallèle aux directions de plissement, ou plutôt un chalet de massifs plus ou moins reliés entre eux. Cet ensemble granitique où les portions granitiques ou granitoïdes sont séparées par des faciès gneissiques ou migmatitiques, a une composition moyenne de granite monzonitique ; de plus, on passe sur les bordures à des monzonites. Ici aussi, la caractéristique commune de toutes ces roches est leur structure granoblastique.

LES ROCHES BASIQUES DES VAVAVATO. - La présence de roches basiques depuis les types éruptifs, gabbro, diorite, jusqu'aux facies métamorphiques amphibolites, est un caractère essentiel des terrains métamorphiques des Vavavato. A. LACROIX, qui possédait de nombreux échantillons de cette région, les a classés d'après les normes magmatiques et a montré la variation de leur composition depuis les gabbros, diorites, jusqu'aux norites et allivalites. Le but de cette étude n'est pas de décrire l'ensemble de ces échantillons qui constituent, certes, un ensemble de choix, mais d'essayer de suivre leur évolution au cours d'un métamorphisme des séries calco-magnésiennes.

Ce qui frappe en effet dans ces roches, c'est leur degré, plus ou moins poussé, de transformation et nous nous proposons d'envisager le mécanisme de ce phénomène et ses résultats. L'énumération préalable de quelques facies rencontrés sera faite depuis les types éruptifs les moins transformés jusqu'aux termes métamorphiques les plus éloignés des roches ignées. Il ne s'agit pas là d'un ordre de métamorphisme croissant, mais il m'a paru normal de partir des roches pratiquement intactes pour aboutir aux facies métamorphiques.

Les séries cristallophylliennes des Vavavato ne contiennent pas de roches éruptives basiques absolument intactes ; elles présentent toutes au minimum des phénomènes de cataclase ou d'ouralitisation. Il faut aller à l'Ouest de la région étudiée, surtout dans les séries sédimentaires, pour trouver des intrusions basiques beaucoup plus récentes, absolument indemnes de transformation. Nous divisons l'étude pétrographique en deux parties :

- 1° Les roches basiques ayant gardé leur ancienne structure doléritique ou ophitique.
- 2° Les roches basiques à structure granoblastique.

1 - Roches basiques à structure conservée. - Dans les quatre premiers exemples, les roches à hypersthène n'ont subi que des phénomènes de cataclase et d'ouralitisation plus ou moins prononcés.

F. 1447 est une norite provenant des abords de la pegmatite à béryl et urane de Sahamandrevo, à facies malgachitique. Les plagioclases (labrador An 55), en cristaux allongés, sont tordus et cassés. Leurs macles polysynthétiques, très fines, sont interrompues et présentent des extinctions roulantes. L'hypersthène en gros cristaux automorphes est presque incolore et fortement ouralitisé sur les bords avec formation de zoïsite et d'épidote. La biotite en petites lamelles possède un fort polychroïsme allant du jaune au rouge ; l'olivine est présente. La structure est grenue à pyroxènes automorphes.

L'échantillon F. 1377 recueilli au Nord d'Antanamalaza est un gabbro noritique à olivine. Le labrador cassé est ici recimenté par de petits fragments de plagioclase et de quartz. De plus, il est poecilitique et englobe des cristaux de biotite et d'épidote. L'olivine prédominante sur l'hypersthène apparaît en gros

cristaux entourés d'une double bordure ; une fine bande d'hypersthène au contact de l'olivine transformée en ouralite vers l'extérieur du cristal avec formation secondaire de zoïsite. La biotite est associée à l'amphibole et l'ilménite ; la structure est grenue, les minéraux déchiquetés et parfois corrodés.

Au pont de la Kikony (Nord du canton d'Amboniramasina), un filon de gabbro à hypersthène s'observe dans les migmatites. La lame mince F.1439, à structure doléritique, montre des phénomènes de cataclase plus poussés que dans les exemples précédents. L'hypersthène ouralitisé ne forme pas de cristaux automorphes, mais un agrégat granoblastique de petits éléments d'hypersthène, amphibole et épidote. La cataclase se manifeste surtout dans les pyroxènes qu'elle avait épargnés jusque là.

Enfin, au Nord-Est du massif, le facies dominant se rapporte aux diorites. C'est le cas du petit massif s'étendant sur la rive gauche de la Sahaomby, au kilomètre 44 de la route de Paratsiho Soavinandrany. Les différents échantillons sont formés de plagioclases calciques (labrador bytownite, An 72) en voie de saussuritisation. Le pyroxène est ici de l'augite fortement ouralitisé, avec formation de zoïsite et d'amphibole. Le grain est moyen, la structure ophitique.

Les exemples cités se rapportent, dans leur totalité, aux gabbros à hypersthène et olivine avec plagioclase calcique ; pour certains même, il s'agit de norites ou gabbros noritiques à facies malgachitiques. Il semble donc que les roches ignées les moins transformées appartiennent au facies profond d'ESKOLA. Le facies "granulite" représenté dans la série basique par les norites et charnockites. Quant à leur gisement, il se situe en général dans les migmatites proches du granite. Il est difficile de le préciser car nous n'avons pas affaire à un massif de roches basiques, mais à un ensemble de petits pointements ou enclaves disséminées dans les migmatites de bordure.

En résumé, la première phase de la transformation des roches basiques est une phase cataclastique accompagnée d'une ouralitisation importante et d'une saussuritisation moins intense. Au point de vue chimique, la cristallisation tardive de l'épidote correspond peut-être à une "culmination" calcique tardive, contemporaine de la fin de la cristallisation de la hornblende.

2- Roches basiques à structure granoblastique. - Je citerai d'abord deux roches intermédiaires, ainsi nommées parce que l'on voit la superposition de deux structures bien différentes, structure doléritique et structure granoblastique.

L'échantillon F.1446 est composé de labrador légèrement saussuritisé, d'augite et d'hypersthène ouralitisés, le pyroxène orthorhombique n'existant plus que sous forme de squelette corrodé par l'amphibole. Sans que l'on puisse mettre l'orthose en évidence, on voit la myrmékite au contact des plagioclases. Le fait intéressant est ici que l'ancienne structure doléritique à plagioclases

automorphes est complètement désagrégée, faisant place à une structure "inter-sertale".

Dans la lame mince F.1451, gabbro du pont d'Ikembena, les plagioclases (labrador 56 An %) sont toujours allongés, mais beaucoup plus gros que ceux qui étaient observés dans les autres échantillons ; ils sont en outre cassés et res-soudés par de petits cristaux de plagioclases plus clairs. Le pyroxène est ici du diopside fortement ouralitisé ; la biotite est abondante et forme des bourgeons dans l'amphibole. La structure doléritique encore visible est remplacée par une structure granoblastique, voire même nématoblastique due à l'abondance des lits de ferro-magnésiens.

Ces deux exemples sont pleins d'intérêt parce qu'ils marquent le passage entre deux structures. Il semble qu'à ce stade, les agrégats cataclastiques des ferro-magnésiens, puis des plagioclases, commencent à se transformer progressivement en gros cristaux donnant un début de structure granoblastique avec des cloisons.

Les structures envisagées maintenant sont cristalloblastiques, les reliques de structure doléritique sont de plus en plus rares. Le pyroxène a pratiquement disparu au profit de l'amphibole qui est une hornblende verte et non une actinote.

Dans F.1450 le labrador (An 65) présente sur ses bords une transformation en oligoclase. Les ferro-magnésiens sont prédominants, surtout l'amphibole qui commence à former des cristaux de taille moyenne. La structure est devenue granoblastique avec des restes de vieux plagioclases.

Le gabbro d'Antanotikely (F.1373) sur la piste de Miandrarivo à Faratsiho, contient un peu de quartz de recristallisation. L'amphibole est en cristaux aux formes frangées, la biotite de couleur sombre est déchiquetée, associée à l'épidote et à l'apatite. Le grain de la roche est moyen, la structure granoblastique s'accompagne d'un début de cloisons formées de ferro-magnésiens autour des feldspaths.

Le petit massif basique de la rivière Andramadinika se compose essentiellement d'amphibolites feldspathiques dérivant de diorites. L'étude des lames minces montre la recristallisation poussée du quartz, la présence de phénoblastes de plagioclases (An 75) poecilites avec quartz et mica ; la richesse en ferro-magnésiens avec prédominance de biotite sur les bords du massif. Les structures sont hétérogènes, granoblastiques à porphyroblastiques au centre, elles passent aux structures granolépido-blastiques au contact des roches encaissantes.

Avec l'échantillon F.1369 provenant de quatre kilomètres à l'Est de Miandrarivo, on voit l'apparition de l'orthose en gros cristaux poecilites, moins abondants cependant que les plagioclases. La structure est à cloisons, les cristaux de feldspath, et éventuellement de quartz, sont séparés par des cloisons

plus ou moins développées de minéraux de plus petite taille (quartz et biotite); les phénomènes de cataclase et de recristallisation sont particulièrement importants.

A l'affleurement, ces amphibolites feldspathiques présentent des taches blanches arrondies, formées par les feldspaths qui tranchent sur les ferromagnésiens beaucoup plus sombres. Par endroits et sur des distances réduites, l'abondance du quartz et des feldspaths aboutit à un faciès de migmatites à biotite et amphibole.

Au contact des terrains encaissants, on rencontre souvent un faciès micacé à grain fin. Au microscope, la roche (F.1370) a une structure granoblastique très fine, avec quartz, plagioclase plus acide (andésine), amphibole et biotite au milieu de laquelle apparaissent des phénoblastes d'orthose; à leur contact, la trame épouse leur forme arrondie. Il existe une analogie frappante entre cet exemple et les faciès mélanocrates observés dans les alignements de granite Ambatomiranty de la région de Tananarive. Ceci est d'autant plus intéressant qu'ici nous sommes à peu près certain de leur relation avec les roches basiques du genre gabbro-diorite.

Interprétation des données pétrographiques. - L'étude pétrographique nous a montré une série de transformations affectant un matériel original basique. Il paraît normal d'envisager dans le sens, roche ignée roche métamorphique, l'évolution de ces faciès qui ne sont ainsi que l'un des aspects du métamorphisme régional. La nature des roches à partir desquelles, par métamorphisme, les amphibolites et les gabbros transformés ont pris naissance, n'est pas évidente a priori. Ici, cependant, on peut faire les constatations suivantes :

- Les amphibolites sont liées à des gabbros relativement peu transformés qui ont encore un gisement de roches éruptives (petits massifs à bords francs, mais ayant à peu près la direction générale des roches encaissantes).

- Il n'existe pas de passage à des séries gneissiques (les gneiss à pyroxène et biotite sont absents de ces formations) et rien sur le terrain ne paraît être à l'origine d'un matériel sédimentaire calco-magnésien. Nous verrons que l'analyse chimique confirme assez bien ces constatations de terrain.

Les transformations pétrographiques que nous avons envisagées à partir d'un gabbro à hypersthène pour aboutir à une amphibolite feldspathique se résument dans l'ordre aux phénomènes suivants :

- 1° -phase cataclastique affectant l'hypersthène et le diopside et, d'une façon moindre, les plagioclases, contemporaine d'un phénomène d'ouralitisation. La structure éruptive basique est conservée.

- 2° -phase hémiblastique. Les amphiboles se transforment progressivement

en gros cristaux homogènes, les pyroxènes n'étant plus que des reliques. Les plagioclases ressoudés deviennent les phénoblastes de la structure granoblastique où l'amphibole et la biotite sont en lits ou amas orientés. On peut avoir des structures intermédiaires, à cloisons, granolépido-blastiques et nématoblastiques.

Si nous nous reportons aux associations minérales critiques d'ESKOLA et TURNER du métamorphisme régional des roches ignées basiques, nous constatons qu'il y a eu "rétromorphose". En effet, nous partons d'un gabbro à pyroxène orthorhombique et olivine "facies granulite", pour aboutir à une amphibole à plagioclase calcique, hornblende et diopside "facies amphibolite".

Quant au processus de la transformation, il se résume pratiquement à deux facies : facies gabbro-diorite, facies amphibolite feldspathique. A.LACROIX signale à Tsaramanga, au Sud du Vavavato, une transformation directe de gabbro noritique en amphibolite non feldspathique. Il n'y a pas de changement notable de composition chimique mais les "nouveaux arrangements moléculaires ont fait passer à l'état potentiel dans les amphiboles la petite quantité de plagioclases exprimée dans la roche éruptive".

Il est assez remarquable de constater par ailleurs l'absence totale du grenat et des facies pyroxénite feldspathique ou non. Je n'en ai jamais rencontrés et il ne semble pas qu'ils aient été signalés antérieurement. A.LACROIX cependant décrit dans la Minéralogie de Madagascar une éclogite à grenats et omphasite provenant de la région de Miandrarivo, à la limite Nord-Est des Vavavato ; elle n'a jamais été retrouvée.

En résumé, l'étude pétrographique montre ici qu'un gabbro, mis en place dans une série et soumis comme elle au métamorphisme régional, se transforme à peu près directement en amphibolite. Il ne semble pas, au moins pour la région des Vavavato, qu'il passe par l'intermédiaire d'éclogite (P.LAPADU-HARGUES), à moins que cette phase secondaire ait disparu.

Composition chimique des roches basiques. - Nous possédons quatre analyses nouvelles représentant à peu près les différents types de roche rencontrés dans la transformation du gabbro en amphibolite. Nous avons prélevé dans la Minéralogie de Madagascar de A.LACROIX trois analyses provenant de la région étudiée.

Les paramètres magmatiques sont ceux des roches éruptives basiques de la famille des gabbro-diorites. Les exemples les moins transformés se rapportent à des norites, ce qui coïncide avec les observations pétrographiques. Les conditions de gisement nous avaient amenés à envisager une origine "ortho" des amphibolites, les paramètres de LACROIX ne font que confirmer cette hypothèse. L'échantillon F.1451, amphibolite dérivant d'un gabbro, possède les paramètres de NIGGLI à peu près identiques à ceux définis par LAPADU-HARGUES comme caractéristiques de la com-

position moyenne des amphibolites (sur la composition moyenne des amphibolites - B.S.G.F. 1953).

<u>AMPHIBOLITE MOYENNE</u> P. LAPADU-HARQUES	<u>ORTHOAMPHIBOLITE</u> F 1451
si..... 114	108
al..... 22	 25,4
fm..... 46	 42
c 24	 24
alk..... 8,3	 8,3
k 0,14	 0,14
mg 0,52	 0,52

REPRESENTATION GRAPHIQUE DES PARAMETRES MAGMATIQUES.- Représentons graphiquement sur un diagramme triangulaire K.C.N. (fig 8) la valeur des paramètres américains de la façon suivante :

K = K_2O en millimolécules
C = CaO en millimolécules
N = Na_2O en millimolécules,

la somme K + C + N étant ramenée à 100.

Toutes ces roches ont un paramètre "p" qui les situe dans la zone des plagioclasites quartziques comprenant 2 familles. Elles se rapportent, soit au groupe des diorites si le paramètre p est égal à II, soit au groupe du gabbro si ce paramètre est égal à III. En examinant le tableau des analyses chimiques, on constate que le paramètre p varie bien en effet de II à III (IV) et même IV, le paramètre q restant très voisin de 5, r et s ayant respectivement des valeurs de 3 à 4 et de 4'- 5. Nous nous trouvons, pour l'ensemble, à la limite des diorites et des gabbros pour les roches basiques du massif des Vavavato se rapprochant un peu plus de la famille des gabbros. Leur caractéristique est la richesse en chaux et la pauvreté assez grande en potasse.

Diagrammes de différenciation.- Dans la figure (N°7) nous avons représenté les paramètres al, fm, c, alk, en fonction de si. L'échantillon An 87 amène des anomalies dans la courbe, en particulier à cause de sa forte teneur en ferro-magnésiens et sa quantité plus faible d'alumine. Cet échantillon est une norite (LACROIX) se différenciant assez du matériel gabbro-diorite de la région, et je pense que pour interpréter les courbes on ne doit pas en tenir compte.

	An 87	F.1447	F.1364	F.1451	An 81	An 153	F.1439
SiO ₂	53,48	49,25	47,85	47,6	46,94	46,10	45,20
Al ₂ O ₃	6,47	10,20	18,90	19,05	17,36	18,36	19,50
Fe ₂ O ₃	2,74	2,80	5,55	3,20	2,87	2,46	2,45
FeO.....	8,76	7,60	7,05	7,65	7,72	9,00	10,45
MgO.....	16,23	20,95	4,35	6,45	6,96	7,04	6,70
CaO.....	6,97	6,20	7,70	9,85	11,74	9,00	10,0
Na ₂ O.....	1,50	1,55	4,05	3,20	2,75	3,04	2,85
K ₂ O.....	0,97	0,45	2,0	0,85	1,35	1,57	0,35
TiO ₂	1,20	0,45	1,45	1,10	1,57	2,22	1,25
P ₂ O ₅	0,58				0,11	0,76	0,20
MnO.....		0,10	0,05	0,05			0,10
H ₂ O+	0,79	0,15	0,15	0,30	0,50	0,36	0,40
H ₂ O-	0,09	0,10	0,30	0,15	0,12	0,05	0,15
Total....	99,72	99,80	99,40	99,45	99,99	99,96	99,60

PARAMETRES C.I.P.W.

p	IV	(III)IV	II	II'	III	II'	II(III)
q	5	5	5	5	5'	5	5
r	3'	4	3	4	4	(3) 4	4
s	4	4 (5)	4	4 (5)	4	4	5
	Norite mélanocrate	Norite	Diorite	gabbro diorite	Micro Gabbro	Alliva- lite, transf.	gabbro noriti- que

PARAMETRES DE NIGGLI

si	101	81,5	104	108	106	105	98,6
al	8	9,9	22,2	25,4	22,6	24,8	24,9
fm	71,7	74,7	35	42	42	45	45
o	15,8	11	17,6	24	27,8	24,9	22,4
alk.....	3,9	2,8	11	8,3	7,7	8,7	6,5
K	0,29	0,13	0,24	0,14	0,24	0,2	0,08
mg.....	0,72	0,78	0,39	0,52	0,53	0,53	0,48

- An 86 - LACROIX 1925. Norite mélanocrate d'Ambohimasina.
F.1447 - Norite (facies malgachitique). Abords pegmatite de Sahamandrovo.
F.1364 - Amphibolite feldspathique. Sud rivière Andramadinika.
F.1451 - Amphibolite - Pont Ikambena - Sud Ambohimasina.
An 81 - Micro-gabbroamphibolique - Ambohimasina. LACROIX 1925.
An 153 - Amphibolite à biotite - Androta - LACROIX 1925.
F.1439 - Gabbro noritique amphibolique - Pont Kikony. Nord d'Ambohimasina.

Cet exemple montre la diversité existant à l'origine dans le magma basique. Mise à part cette anomalie, les courbes représentent les variations signalées dans l'étude pétrographique. Les analyses ayant une valeur de si inférieure ou égale à 100 représentent les roches basiques à peu près indemnes de transformation. Les ferro-magnésiens diminuent lorsque la silice augmente, l'alumine et la chaux croissent assez régulièrement. La courbe alk varie peu en fonction de si et il semble, d'après les analyses, que la proportion de K_2O reste plus constante d'une roche à l'autre que celle de Na_2O .

Etude du métamorphisme des roches basiques. - TURNER (1943) en accord avec ESKOLA, BARTH et RAMBERG, a, en étudiant le métamorphisme des roches ignées basiques, utilisé des représentations graphiques pour chacun de leur facies. Il définit ainsi le diagramme A.C.F. avec les valeurs suivantes :

$$A = Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O)$$

$$C = Ca\ O$$

$$F = Mg\ O + Fe\ O.$$

Ces valeurs sont recalculées pour que leur somme soit égale à 100. TURNER donne le tableau suivant des associations minérales critiques formées pendant le métamorphisme régional progressif des roches ignées basiques.

Associations minérales dans les roches basiques et leurs équivalents métamorphiques.	Facies Minéral	Zones métamorphiques des Highlands écossais correspondantes
Plagioclase-pyroxène - (Olivine)	Facies gabbro	
Plagioclase-hornblende (diopside grenat épidote ou zoisite)	Facies Amphibolite	Sillimanite
		Cyanite
		Staurotide
Albite - hornblende - épidote (- chlorite)	Facies amphibolite à épidote.	Almandin
Albite - Epidote - actinote - chlorite.	Facies schiste vert	Biotite
Albite - Epidote - chlorite (Calcite)		Chlorite

Les roches basiques du massif des Vavavato sont des formes orthométamorphiques profondes qui se classent dans le facies amphibolite défini (ESKOLA) par l'association critique de hornblende et de plagioclase calcique. Pour cet auteur, cette association demeure stable sous un vaste domaine de conditions physiques

correspondant, soit au métamorphisme régional relativement profond "mésozone", soit à un métamorphisme de contact. Dans la zone étudiée, les roches classées dans ce facies se rapportent vraisemblablement au métamorphisme régional qui se manifeste avec une forte intensité sur les autres séries (migmatites à pyroxène et amphibole). Il est possible cependant qu'il y ait une action du métamorphisme de contact due à la proximité du granite des Vavavato.

Le facies amphibolite se subdivise lui-même en :

Sous-facies Cordiérite Antophyllite
Sous-facies Staurotide Cyanite
Sous-facies Sillimanite Almandin
Sous-facies Almandin - Diopside - Hornblende.

Si nous construisons le diagramme A.C.F. du sous-facies Staurotide-Cyanite et que nous reportions les valeurs des analyses chimiques, nous constatons :

- que le champ occupé par les roches basiques des Vavavato est compris dans le triangle Anorthite, Ouralite, Biotite.

- qu'aucune roche ne figure dans les triangles Anorthite, Ouralite Actinote, ou Actinote, Ouralite, Biotite ; l'amphibole des roches basiques est ici alumineuse et se classe dans la série Ouralite, Hornblende, plutôt que dans la série Ouralite Actinote.

Dans le diagramme A.C.F. du facies "granulite", les amphibolites étudiées se situent en partie à proximité de la limite des groupes Norites et Charnockites, ce qui est en concordance avec les observations de terrain et l'étude pétrographique. Ce facies est cependant instable car on note, dans tous les cas, la présence d'ouralite.

Pour TURNER, nous sommes au commencement d'un facies métamorphique de plus basse intensité ; le facies "granulite" est en voie de transformation en facies "amphibolite".

En conclusion, les types les moins transformés se rattachent au facies granulite de la catazone, mais il s'agit là d'un facies instable, insuffisamment atteint par le métamorphisme rétrograde. L'ensemble des roches métamorphiques de la région a subi des transformations plus poussées et correspond à un facies stable, le facies amphibolite.

Le processus général correspond à une rétro-morphose de roches gabbroïques ou dioritiques se transformant à peu près directement en amphibolites. Il faut noter enfin la concordance existant dans les facies de métamorphisme entre les roches ignées basiques et les séries métamorphiques encaissantes.

Transformations chimiques du métamorphisme des roches basiques. - Nous venons de voir le mécanisme de ce métamorphisme, son sens rétrograde ; nous allons essayer maintenant d'évaluer, tout au moins qualitativement, les échanges chimiques au cours des différentes transformations. Pour cela, je cite trois roches qui correspondent chacune à un stade bien défini de la transformation. Il est évident que, dans ces conditions, cette comparaison n'a qu'une valeur indicative et n'a rien de général.

- F.1447 représente un gabbro à tendance noritique à peu près exempt de transformations.

- F.1439, un gabbro amphibolique ayant conservé sa structure de roche ignée basique.

- F.1364, une amphibolite feldspathique.

Pour établir une comparaison, j'ai converti les chiffres des analyses chimiques, exprimés en pourcentages pondéraux, par des valeurs exprimées en pourcentage moléculaire.

Les trois exemples cités ont alors la composition suivante :

% moléculaires	F.1447	F.1439	F.1364
SiO ₂	47,8	49,5	54,4
Al ₂ O ₃	5,8	12,6	12,6
Fe ₂ O ₃	1,5	0,9	2,3
FeO	6,2	9,5	6,6
MgO	30,5	11,0	7,3
CaO	6,4	12,4	9,4
Na ₂ O	1,4	3	4,4
K ₂ O.....	0,2	0,2	1,4
TiO ₂	0,3	0,9	1,2

D'après le tableau précédent, la transformation d'un gabbro normal en gabbro ouralitisé, à structure cataclastique, se traduit par une importante venue d'alumine, de chaux, une augmentation bien moindre de silice, fer et soude. Elle est compensée par un départ très important de magnésie. Ces échanges chimiques correspondent minéralogiquement à la formation d'ouralite alumineuse aux dépens du pyroxène orthorhombique.

La transformation finale en amphibolite se fait par un apport continu de silice, de soude, de potasse et de titane, alors que la magnésie continue à régresser. Il est intéressant de noter que les échanges mis en oeuvre pour le dernier stade ont une ampleur beaucoup plus faible que la simple ouralitisation du pyroxène. Le changement de structure se fait donc sans grandes différences chimiques.

La chaux atteint sa valeur maxima au cours de l'ouralitisation du pyroxène et décroît nettement dans les amphibolites. Ce fait et l'apport relatif de soude expliquerait peut-être la basicité un peu plus faible du plagioclase des amphibolites.

Les variations du fer sont identiques, et selon SORENSEN (1953), au début de la transformation des gabbros, l'olivine devient plus ferrifère, tendant vers la fayalite. Par la suite, le développement de l'ouralitisation expliquerait la plus faible teneur en fer.

En résumé de l'étude chimique du métamorphisme, le fer, la chaux et éventuellement l'alumine, se concentrent au premier stade au début de l'ouralitisation. La silice, la soude, et dans des proportions moindres la potasse et le titane, se concentrent à la périphérie de l'ensemble basique, dans les amphibolites feldspathiques. La magnésie, enfin, diffuse à l'extérieur des roches basiques.

Nous retrouvons et complétons ici les conclusions de l'étude du métamorphisme des roches basiques. Partant d'un facies profond, le facies granulite, les premières transformations (culmination géochimique du fer et du calcium) créent un facies instable représenté surtout par la présence du pyroxène orthorhombique et de l'ouralite. Le deuxième stade, avec apport relatif de silicium et d'alcalin, se rapproche beaucoup plus du processus normal de migmatisation des séries cristallophylliennes et rétablit un facies stable, le facies amphibolite.

Les roches encaissantes des Vavavato font partie, selon la terminologie de H.BESAIRIE, du Système du Graphite. Il serait intéressant de voir si des phénomènes analogues à ceux que nous venons d'étudier se rencontrent dans ce Système.

Dans le complexe de Mahavelona situé à l'Ouest de Soavinandriana, L.LAPLAINE décrit des passages de gabbros aux amphibolites. Pour cet auteur, des gabbros à hypersthène, diallage et labrador, se transforment en amphibolites feldspathiques par métamorphisme. J.GUIGUES signale des roches basiques analogues dans les facies de bordure du granite de Brickaville : roches renfermant l'association hypersthène-biotite à structure voisine de la structure hyperitique des gabbros se transformant en pyroxénites et amphibolites.

Il existe cependant des analogies certaines avec les Vavavato, mais il paraît probable que les facies de Brickaville présentent plus de variétés : ceci peut-être dû au fait que l'ensemble se situe à la limite de deux systèmes stratigraphiques :

- Le Système du Vohibory, représenté ici par le groupe de Beforona.
- Le Système du Graphite, représenté par le groupe du Manampotsy.

Enfin, J.BOULANGER, dans "Etudes Géologiques des formations cristallines de la région du Vohibory (Thèse Nancy 1954), attribue au Groupe d'Ampanihy (Système du Graphite) un ensemble de gabbros du type anorthosite-labradorite à hy-

persthène, représentant typiquement le facies catazonal de la région avoisinante.

IV. CONCLUSIONS GENERALES A L'ETUDE DES VAVAVATO

De cette étude nous tirons les conclusions suivantes :

- Le massif des Vavavato correspond à un ensemble granite-migmatites intimement associés, dans la série du Graphite.

- Le noyau granitique n'a plus une structure de roche éruptive, mais une structure de roche métamorphique, d'autant plus granoblastique que l'on s'éloigne du centre.

- Les migmatites de bordure passent généralement en continuité au granite. Elles ne forment pas exactement une auréole, mais une série concentrique de grosses lentilles tout autour du coeur granitique. Leur gisement, leur structure et leur composition les différencient des migmatites du Système du Graphite.

- Les roches basiques sont très abondantes, mais disséminées dans les migmatites des Vavavato. Elles ont subi des transformations plus ou moins intenses, que nous avons assimilées à une phase postérieure du métamorphisme.

- L'existence d'une métagénèse alcaline dans les Séries basiques, ou tout au moins silico-alumineuse montre l'antériorité de ces séries par rapport aux migmatites des Vavavato.

A l'appui de ces faits, on peut concevoir le schéma géologique suivant pour expliquer la structure actuelle des Vavavato :

1° Une série cristallophyllienne, celle du Graphite, représentée par des schistes cristallins et des migmatites schisteuses.

2° La mise en place dans cette série de gabbros ou roches associées sous forme d'un massif unique ou d'un ensemble de petits pointements.

3° La mise en place du granite et de ses migmatites. Celles-ci sont influencées dans leur composition par les anciennes roches basiques qu'elles ont métamorphosées et plus ou moins assimilées.

4° Une phase métamorphique postérieure qui a affecté aussi bien les séries basiques que les séries acides. Elle est responsable de la structure granoblastique actuelle du granite, de la transformation des gabbros en amphibolites.

D'après les études pétrographiques et chimiques, ce métamorphisme postérieur semble se rattacher au facies "amphibolite" d'ESKOLA.

Quelles sont maintenant les relations stratigraphiques du granite des Vavavato par rapport aux granites migmatitiques d'une part, aux granites mieux individualisés en filons ou en massifs d'autre part.

La structure granoblastique typique du granite des Vavavato, semble le fait d'un granite ancien repris par le métamorphisme. Les granites migmatitiques situés à l'intérieur des migmatites granitoïdes des Hauts Plateaux ont généralement des structures à cloisons, parfois un peu cataclastiques qui n'atteignent jamais une intensité de transformation aussi poussée. Il semble donc que le granite des Vavavato soit plus ancien que les granites migmatitiques.

Les granites ambatomiranty présentent également une structure granoblastique. Ils sont donc antérieurs au granite migmatitique et semblent légèrement postérieurs au granite des Vavavato.

Le granite de Behenjy enfin, qui contient des enclaves de granite ambatomiranty, serait parmi les plus récents.

Nous verrons postérieurement que les mesures d'âges apparents semblent confirmer ces faits.

CONCLUSION GENERALE

Le but de ce mémoire est l'étude de trois granites des Hauts Plateaux de Madagascar, recoupant la Série du Graphite. Dans ce dernier chapitre, nous reprendrons brièvement les résultats principaux. Nous tenterons pour terminer, de situer ces formations dans le cadre de la Géologie et de la Géochronologie malgache.

I. RESULTATS PRINCIPAUX

LES GRANITES DE TYPE AMBATOMIRANTY se présentent en filons rectilignes, localisés au Sud-Ouest de Tananarive, suivant un mode de gisement inhabituel pour des granites.

Nous avons montré que ces alignements ont pris naissance par le processus suivant :

- 1- Fracturation du socle gneissique ou migmatitique.
- 2- Mise en place, localement, de diorites dans ces cassures.

3- Granitisation le long de ces fractures, des gneiss et des migmatites des éponges, ou des diorites de remplissage. Ce phénomène paraît avoir suivi de peu la formation des migmatites granitoïdes.

Ces granites constituent donc un type particulier, en filons rectilignes, de granites tardi-migmatitiques, avec lesquels ils présentent d'ailleurs beaucoup d'analogies.

LE GRANITE DE BEHENJY est un petit massif bien individualisé. Il paraît plus récent que tous les granites de la région, granites migmatitiques, granites ambatomiranty même, puisqu'il renferme des enclaves de ces dernières roches. Il n'ap-

partient pas au type "post-tectonique", car sa structure est cataclastique et on trouve encore des migmatites associées.

LE MASSIF DES VAVAVATO constitue un ensemble granite-migmatites qui se distingue des autres granites des Hauts Plateaux.

1- Par la présence dans les migmatites de bordure, de masses de gabbros plus anciens qui ont été affectés par la granitisation.

2- Par l'existence d'un métamorphisme postérieur à la mise en place du granite.

Le granite des Vavavato paraît plus ancien que les granites migmatitiques des Hauts Plateaux, mais légèrement antérieur aux granites ambatomiranty.

II. SITUATION DANS LE CADRE GEOLOGIQUE ET GEOCHRONOLOGIQUE DE MADAGASCAR

Les trois formations étudiées recoupent la Série du Graphite. Rappelons la position du Système du Graphite dans la Géochronologie actuelle de Madagascar :

(H.BESAIRIE - 1956) - Orogénèse Eocambrienne : 485 Millions d'années.

Limite supérieure de la Série des Cipolins : 1120 MA

Limite supérieure du Système du Vohibery : 2140 MA

Limite supérieure du Système du Graphite : 2600 MA.

D'après la terminologie de H.BESAIRIE, la série des Cipolins qui correspond à un complexe plissé ante-Karroo est en discordance sur le socle.

Le Laboratoire de Géologie et de Minéralogie de Clermont-Ferrand vient d'effectuer trois nouvelles mesures d'âge apparent concernant des zircons provenant des granites suivants :

Granite Ambatomiranty d'Ambatoroka (Tananarive) : 1050 Millions d'années.

Granite des Vavavato (20 kilomètres au Nord-Est de Betafo)
1060 Millions d'années.

Granite à orthite. Alakamisy-Ambohimaha (région de Fianarantsoa)
510 Millions d'années.

Ces mesures d'âge confirment la position recoupante dans la Série du Graphite des granites ambatomiranty et du granite des Vavavato. Si on se rapporte à la Géochronologie établie, ces granites semblent légèrement postérieurs à la Série des Cipolins (1120 Millions d'années). Ces faits viendraient confirmer les observations de A.EMBERGER sur le granite d'Ambatofinandrahana, analogue au granite des Vavavato, et qui, selon cet auteur, recoupe en les métamorphisant les formations de la Série des Cipolins.

On constate une parfaite coïncidence d'âges apparents entre les granites ambatomiranty et le Granite des Vavavato, mais les observations pétrographiques nous font pencher pour une légère antériorité du granite des Vavavato.

Quant au granite à orthite d'Alakamisy-Ambohimaha, il représente un type de granite leucocrate très répandu sur les Hauts Plateaux. C'est le premier granite à Madagascar dont l'âge avoisine celui des minéralisations uranifères : thorianite de l'Extrême-Sud, uraninite et monazite des pegmatites des Hauts Plateaux.

Or, le Granite de Behenja, par sa composition pétrographique et chimique, peut être assimilé au granite à orthite. D'autre part, nous avons dit précédemment qu'il renfermait des enclaves de granite ambatomiranty. Les résultats nouveaux nous conduisent à lui attribuer un âge de 500 Millions d'années.

Nous ne pouvons être que très prudents dans ce dernier cas ; c'est en effet la seule mesure d'âge apparent que nous possédions actuellement pour un faciès granitique ayant une très grande extension dans tout le centre de Madagascar.

BIBLIOGRAPHIE

ABREVIATIONS UTILISEES :

- B.G.S.A. : Bulletin of Geological Society of America.
 B.S.C.G.F. : Bulletin du Service de la Carte Géologique de France.
 B.S.G. : Bulletin de la Société Géologique de France.
 C.R.S.A.S. : Comptes rendus sommaires de l'Académie des Sciences.
 G.S.A. : Geological Society of America.
 S.M.M. : Service des Mines de Madagascar.

- AICARD P. 1953.- Le Précambrien du Togo et du Nord-Ouest du Dahomey.
 Thèse - Faculté des Sciences - Nancy.
- BACKLUND G.H. 1949.- El problema de la granitizacion. Estudios Geologicos N°10
 Madrid.
- BARTH T.W.F. 1948.- Oxygen in rocks ; a basis for petrographic calculation.
 Journal of Geology. T.56, pp.50-60.
- BESAIRIE H. 1946.- La Géologie de Madagascar en 1946. Annales Géologiques S.M.M.
- BESAIRIE H., GUIGUES J., LAPLAINE L. et LAUTEL R. 1951.- Le Granite à Madagascar.
 Archives du Service Géologique de Madagascar. (Série "Travaux" N°27).
- BESAIRIE H. 1952.- Le Précambrien de Madagascar. Note au Congrès Géologique
 International d'Alger.
- id- 1956.- La Géologie de Madagascar en 1956 et ses grands problèmes.
 Extraits B.S.G.F. t.VI. pp.243-252.
- id- 1956.- Mesure d'âge de quelques galènes de Madagascar. C.R.S.A.S.
 t.241. pp.317-319.

- BESAIRIE H. 1956.- La Géochronologie à Madagascar en 1956. Congrès Géologique International Mexico 1956. Association des Géologues Africains.
- BOULANGER J. 1954.- Etude géologique des Formations Cristallines de la région du Vohibory (Madagascar). Thèse - Faculté des Sciences - Nancy.
- BRAJNIKOV B. 1945.- Les rapports numériques et volumétriques de l'oxygène dans les minéraux et les roches. Instituto de tecnologia industrial. Boletim 8. Brésil.
- id- 1945.- Sur la distribution de l'oxygène dans la lithosphère. B.S.G.F. t.XV p.329.
- BUDDINGTON H. 1939.- Adirondacks igneous rocks and their metamorphism G.S.A. Memoir 7.
- EMBERGER A. 1955.- Les Terrains Cristallins du Pays Betsileo et de ses bordures occidentales. Thèse - Faculté des Sciences - Clermont-Ferrand.
- GUIGUES J. et LAPLAINE L. 1949.- Note sur quelques Granites de la région de Tananarive. Bulletin géologique de Madagascar. Fasc.1.
- GUIGUES J. 1953.- Les Terrains Cristallins de la Partie Centrale de Madagascar entre Miandrivazo et Vatondry. Thèse - Faculté des Sciences - Nancy.
- JUNG J. et ROQUES M. 1952.- Introduction à l'étude zonéographique des formations cristallophylliennes. B.S.C.G.F. N°235 t.I.
- LACROIX A. 1914.- Les roches basiques non volcaniques de Madagascar. C.R.A.S. t.159.
- id- 1917.- Sur la transformation de quelques roches éruptives, basiques, en amphibolites. C.R.A.S. t.164. p.969.
- id- 1917.- Les Orthoamphibolites et les Orthopyroxénites feldspathiques de Madagascar. C.R.A.S. t.165. p.77.
- id- 1922.- Minéralogie de Madagascar. Challamel, Editeur. Paris.
- LAPADU-HARGUES P. 1945.- Sur l'existence et la nature de l'apport chimique dans certaines séries cristallophylliennes. B.S.G.F. t.XV pp.255 à 310.

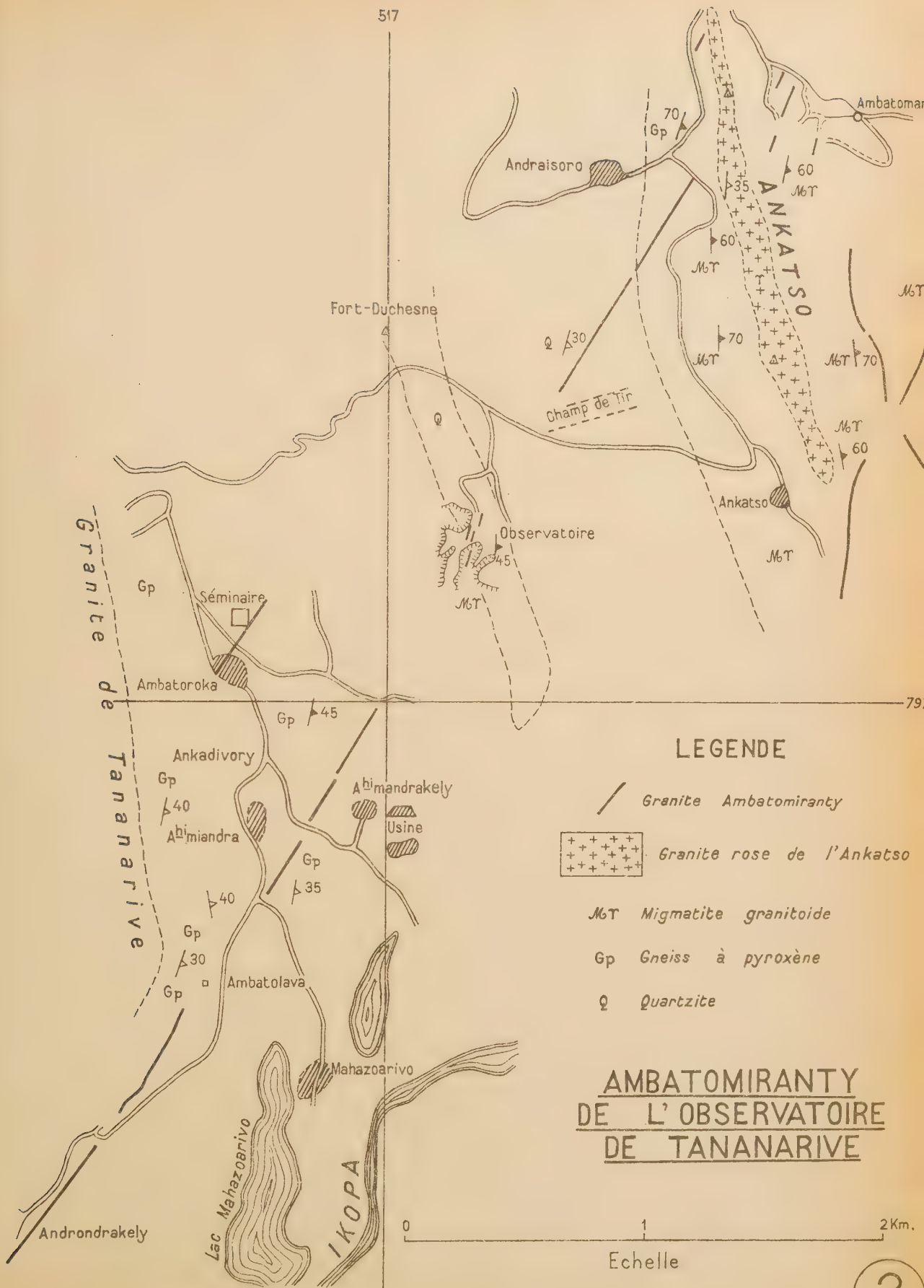
- LAPADU-HARGUES P. 1948.- Sur la présence de zones d'oxydation et de réduction dans les phénomènes de métamorphisme. C.R.A.S. t.226 pp.1995-1996.
- id- 1949.- Contribution aux problèmes de l'apport dans le métamorphisme. B.S.G.F. t.XIX. pp.89-106.
- id- 1953.- Sur la composition chimique moyenne des amphibolites. B.S.G.F. t.III. pp.153-173.
- LAPLAINE L. 1953.- Etude géologique du Massif Cristallin Malgache à la latitude de Tananarive. Thèse - Faculté des Sciences - Nancy.
- LAUTEL R. 1953.- Etude géologique du Socle Cristallin de Madagascar à la latitude de Tamatave. Thèse - Faculté des Sciences - Clermont-Ferrand.
- MUTHUON J.R.P. 1914.- Les alignements granitiques de la région de Tananarive. Académie Malgache. Tananarive. t.I. pp.73-83.
- PERRIN R. et ROUBAULT M. 1946.- Note sur le mécanisme du métamorphisme. B.S.G.F. 5ème Série - T.XVI.
- RAGUIN F. 1946.- Géologie du Granite. Paris. Masson et Cie.
- RAMBERG H. 1952.- The origin of metamorphism and metasomatic rocks. The University of Chicago.
- REYNOLDS D.L. 1947.- The Association of basic "fronts" with granitisation. Science progress Vol.XXXV. N°138. pp.205-219.
- ROCHE (H.de la) 1955.- Etude géologique de la région de Mananjary (Madagascar). Thèse - Faculté des Sciences - Nancy.
- ROQUES M. 1941.- Les Schistes Cristallins de la partie Sud-Ouest du Massif Central Français. Mémoires de la carte géologique de France Paris.
- id- 1955.- Etude quantitative des Myrmékites. Colloque de Nancy. Publications du C.N.R.S. Colloque 68. Paris.
- SCOTTFORD D.M. 1956.- Metamorphism and axial plane folding in the poundridge area. New York. B.G.S.A. Vol.67. pp.1155-1198. Septembre 1956.

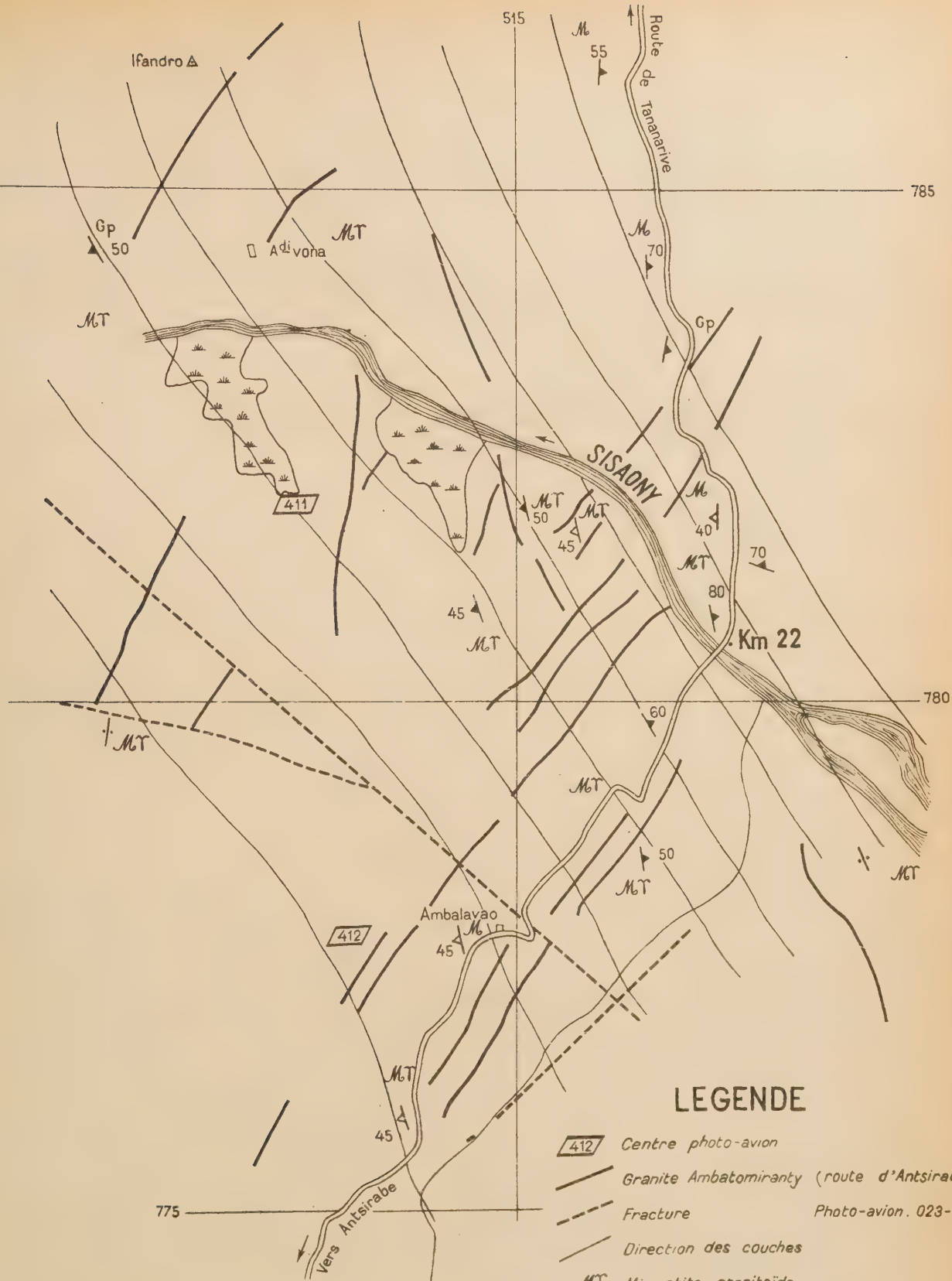
- SORENSEN H. 1952.- Further studies on ultra-basic rocks in Sukkertoppen.
District West Greenland. Gronlands Geologiske Undersogelse.
Misc. papers n°8.
- id- 1954.- A propos des péridotites. Extrait des Sciences de la Terre.
Tome II. N°3.
- TURNER J. 1948.- Mineralogical and structural evolution of the metamorphic
rocks. G.S.A. Memoir 30.
- Traduction de J.GUIGUES et L.LAPLAINE. Bureau géologique
de Madagascar, Tananarive.

LEGENDE

-  Volcanisme
-  Granite de Behenij
-  Granite Ambetomiranty
-  Granite des Vavavato
-  Migmatites des Vavavato
-  Roches basiques des Vavavato
-  Migmatites granitoïdes
-  Migmatites schisteuses
-  Série du Graphite



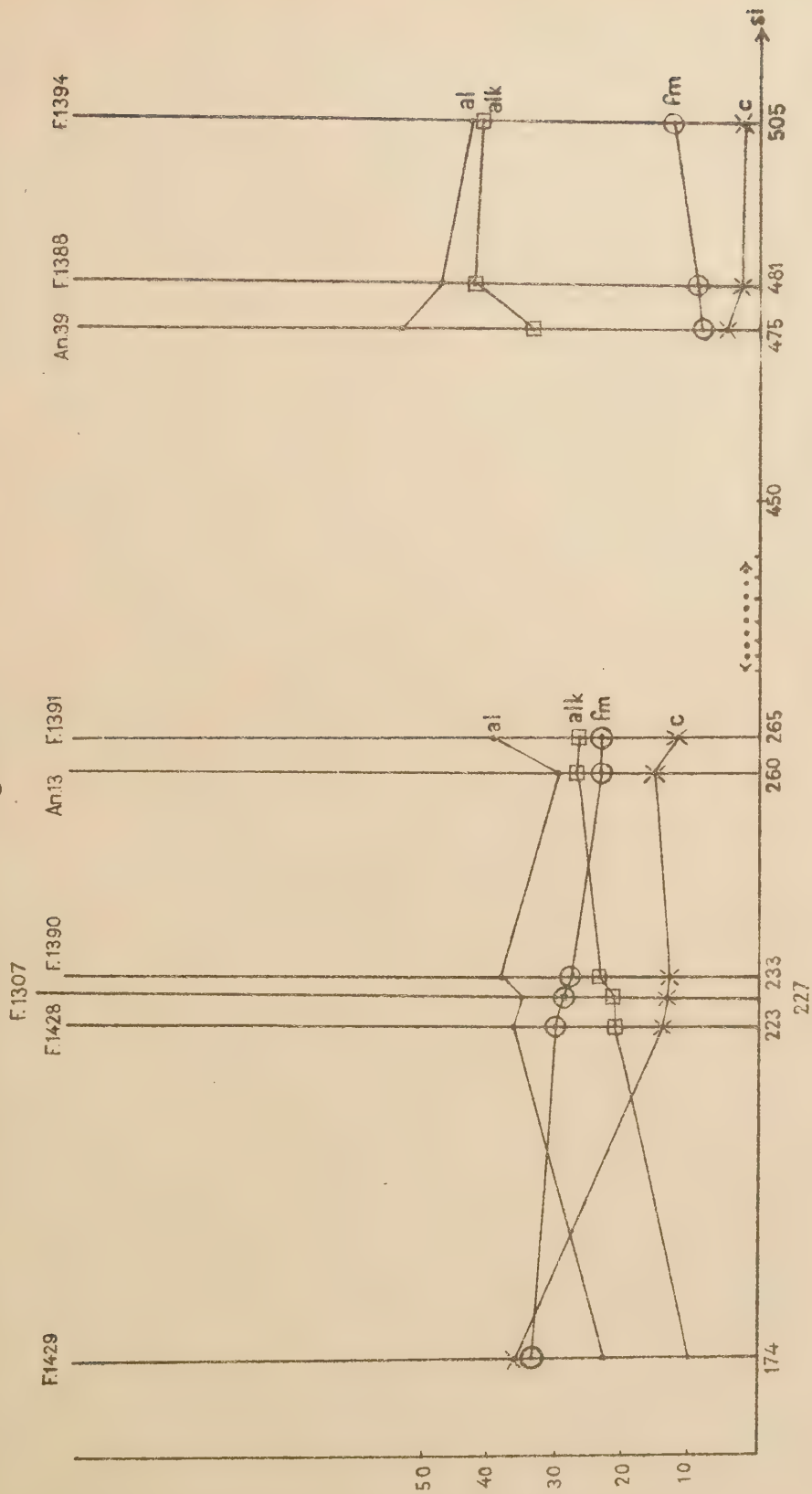




AMBATOMIRANTY DU Km 22

Gneiss à pyroxène. Granite Ambatomiranty. Migmatite.

Granite leucocrate

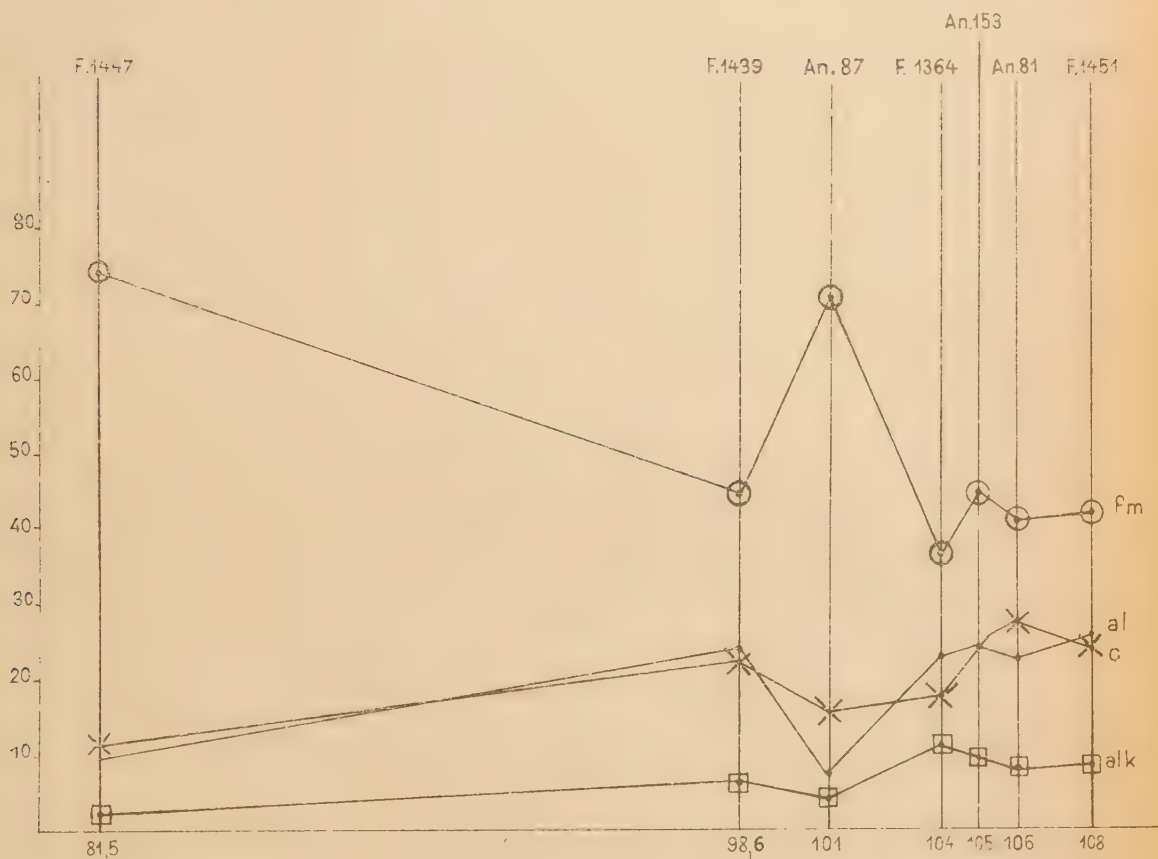


ROCHES DE LA REGION DE TANANARIVE

Diagramme des variations des paramètres al, fm, c, alk, en fonction de si

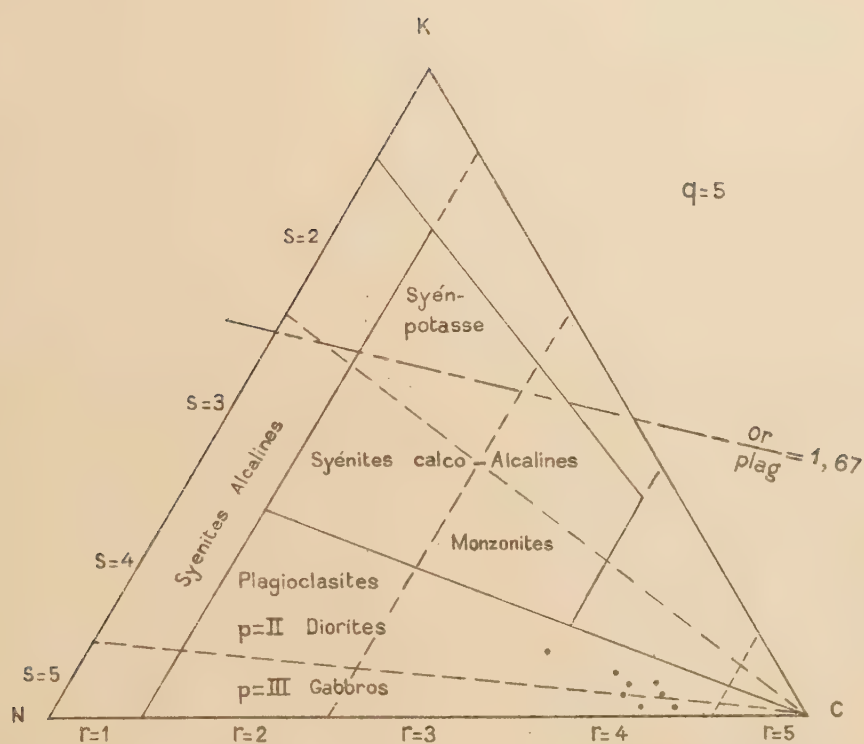
Gabbros

Amphibolites



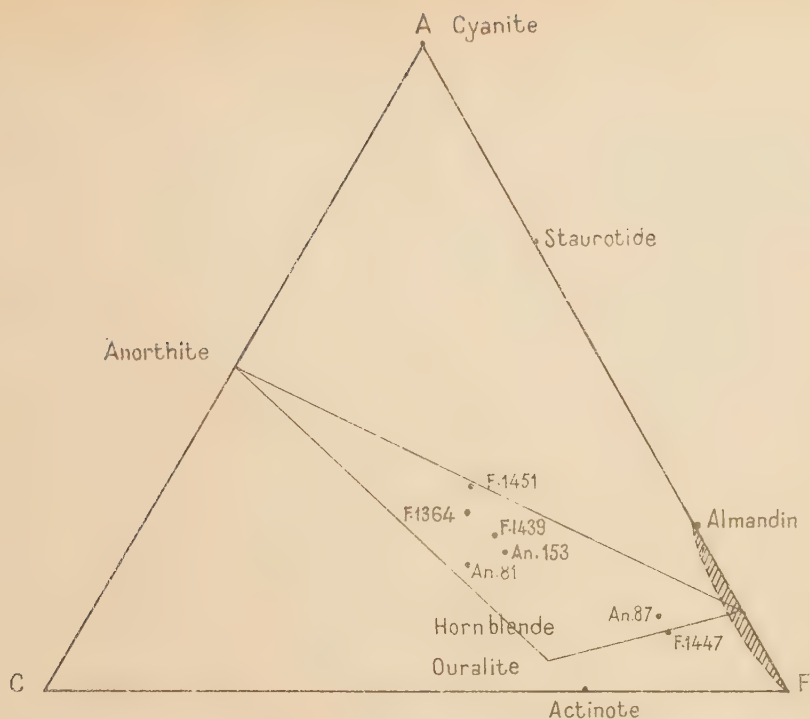
ROCHES BASIQUES DES VAVAVATO

Diagramme des variations des paramètres al, fm, c, alk, en fonction de si



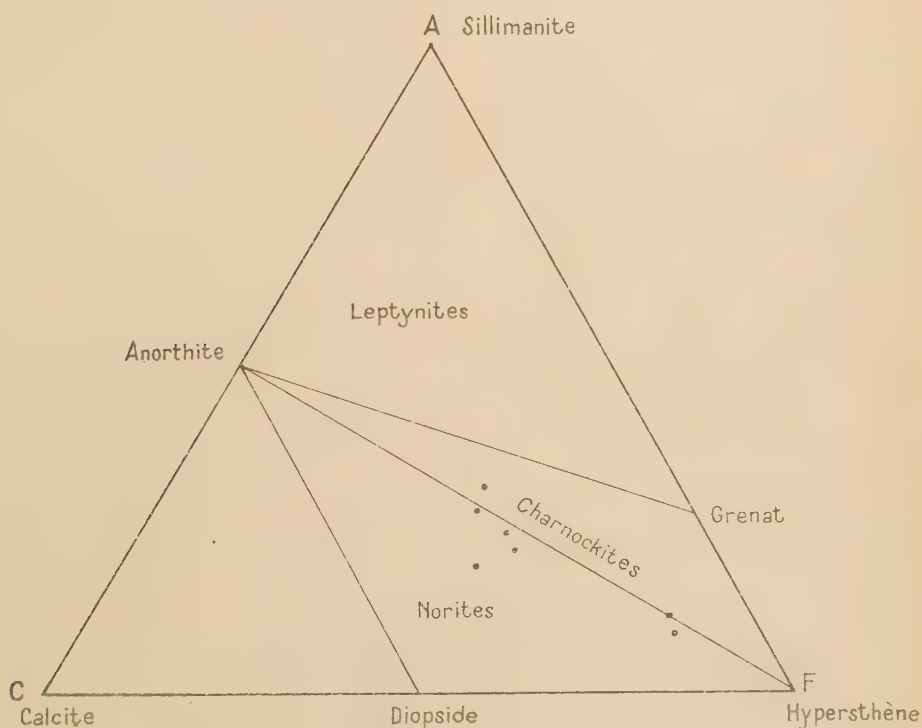
ROCHES BASIQUES DU MASSIF DES VAVAVATO

Représentation graphique des paramètres C.I.P.W.



ROCHES BASIQUES DES VAVAVATO

Diagramme A.C.F - Facies amphibolite - Sous facies Staurotide - Cyanite



ROCHES BASIQUES DES VAVAVATO

Diagramme A.C.F - Facies granulite

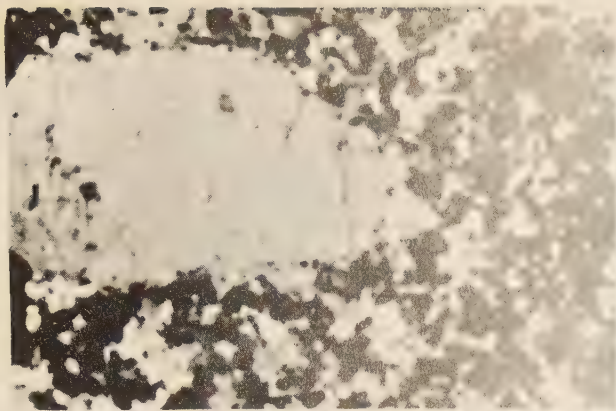
Planche n° 10

STRUCTURES

PLANCHE N°10

STRUCTURE

- 1.- Phéno-cristal d'orthose dans une pâte ayant une composition de diorite.
Enclave basique dans le granite ambatomiranty F.1409.
P.K. 26 route d'Antsirabe
L.P. x 25.
- 2.- Phéno-cristal d'orthose dans un microgabbro micacé F.1370.
Rivière Iangadatsoka - 4 km Sud-Est Miandrarivo.
L.P. x 50.
- 3.- Phéno-cristal d'orthose perthitique souligné par de petits cristaux de biotite.
Migmatite des Vavavato F.1376.
Lac Anosy.
L.P. x 25.



2



3

Planche n° 11

DEFORMATION DU GABBRO

PLANCHE N° 11

DEFORMATION DU GABBRO

1. Mâcles polysynthétiques des plagioclases provoquées par un début de cataclase qui affecte aussi les pyroxènes.
Gabbros à hypersthène F.1447.
Abords de la pegmatite de Sahamandrevo.
L.P. x 25.

2. Plage de Labrador ayant subi une phase cataclastique intense. Agrégat de petits grains essentiellement formés de pyroxène et d'amphibole.
Gabbro du pont de l'Ikambena. Sud d'Ambohimasina. F.1451.
L.P. x 25.



1



2

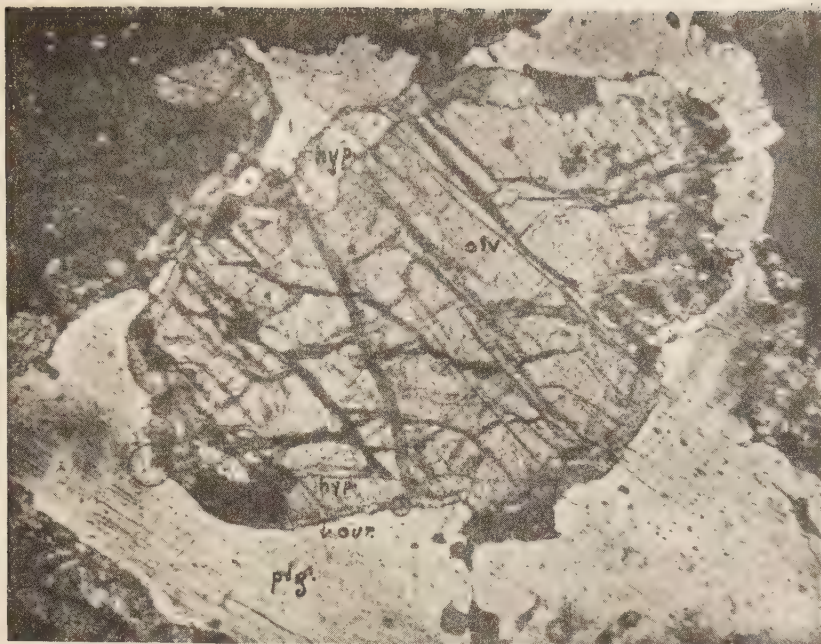
Planche n° 12

TRANSFORMATION DES MINERAUX

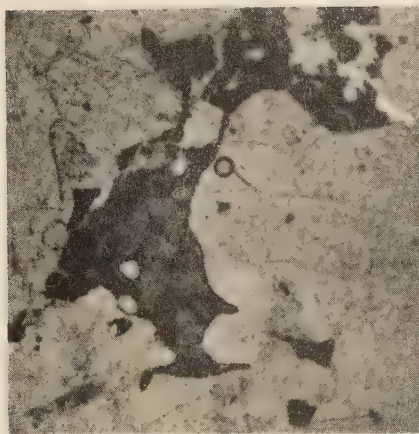
PLANCHE N° 12

TRANSFORMATION DES MINERAUX

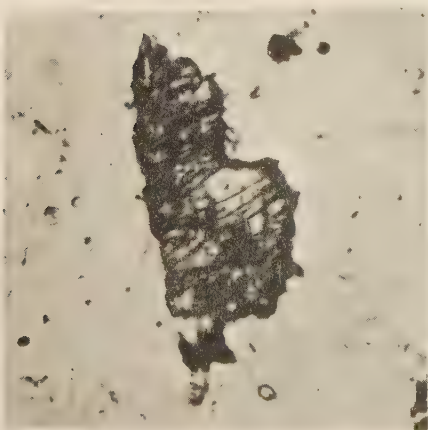
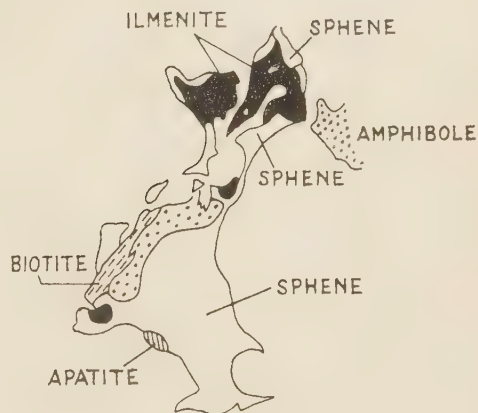
1. Cristal d'olivine présentant une double bordure d'hypersthène et d'ouralite au contact d'un plagioclase.
Gabbro à olivine F.1377.
Nord d'Antanamalaza.
L.P. x 25.
2. Association amphibole, biotite, sphène, ilménite, apatite, caractéristique du granite ambatomiranty F. 1426. Village d'Androndrakely.
L.N. x 35.
3. Cristal d'augite ouralitisé sur ses bords, avec présence de sphène, ilménite et biotite.
Migmatite des Vavavato. F.1376. Lac Anosy.
L.N. x 35.



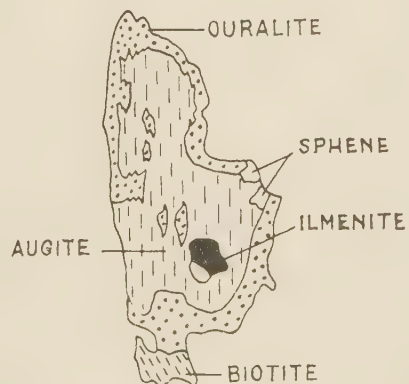
1



2



3



DEUXIEME THESE

PROPOSITION DONNÉE PAR LA FACULTÉ :

ETUDE GEOLOGIQUE AU 1/20.000 de la région
d' AMBINDANDRAKEMBA (ANDROY MANDRAREEN)

EXTREME SUD DE MADAGASCAR.

-:-:-:-:-

Vu et approuvé
Clermont-Fd., le 1957

Le Doyen de la Faculté des
Sciences.

Vu et permis d'imprimer

Le Recteur de l'Académie
de Clermont-Fd.

Renaissance

